ISSN 0286-0651
昭和58年2月7日発行 毎月7日発行 第3巻第2号
昭和56年7月28日国鉄首都特別扱承認雑誌第5750号
昭和56年8月10日第三種郵便物認可

Newton

GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン



2 1983/February
Vol.3 No.2

ZOOM & FOCUS
ミツバチ

NEWTON SPECIAL
コンピュータ

GEOGRAPHIC
ライン川／竹内 均

なぞの天体クェーサー／鶴田幸子

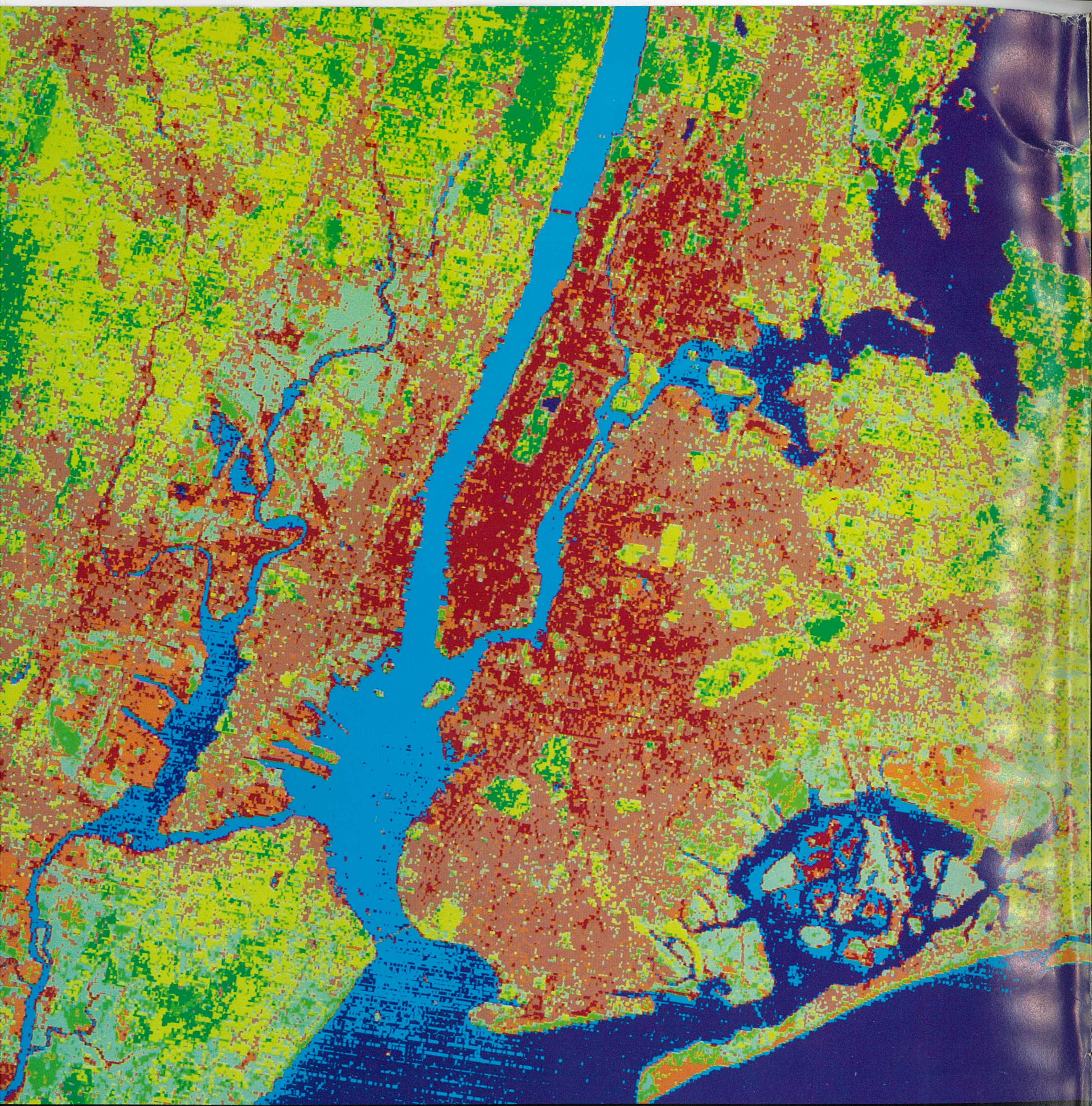
細胞社会をつくりあげる分子

緯度観測所を訪ねて
地球の回転に秘められたなぞ

ペンギン

¥800

KYOIKUSHA



NEWTON SPACE MISSION

ニューヨーク／*New York*

摩天楼が立ち並ぶ街ニューヨーク。世界経済を動かすビジネス街の喧噪が，夕方5時にはぴたりとやんで，人けのない静けさにかわるとき，ブロードウェイでははなやかな夜がはじまる。私たちの知っているニューヨークは，イースト川とハドソン川にはさまれたマンハッタン島，しかもその南半分の地区に集中している。東京が銀座や新宿だけではないように，ニューヨークもここを中心として広大な都市圏をもっている。マンハッタン島の東側は多彩な人種の生活する住宅地で，西側は緑の多い静かな住宅地である。また，郊外には市民のレクリエーションの場として数百のゴルフ場が分布している。



密集市街地
住宅地
工場
農地・裸地
草地
森林
荒地
河川水
海水

解析：田中總太郎・中山裕則／(財)リモート・センシング技術センター
LANDSAT DATA:1977.5.1／1:200,000

Newton

GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン



1983／*February*

Newton

GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

2 1983 February



宇宙の果てにあるといわれているクェーサー。ばくだいなエネルギーを放射しているクェーサー。その正体は，超大質量のブラックホールかもしれない。

Newton 2月号 Vol. 3 No. 2
1983年2月7日発行

発行人 辻 裕久
編集人 竹内 均
印刷設計 堀木一男・岩崎邦好・小出正志／デザインコンピビア
発行所 株式会社教育社
〒189 東京都東村山市恩多町1-12-3

SCIENCE SENSOR

冥王星とトリトン

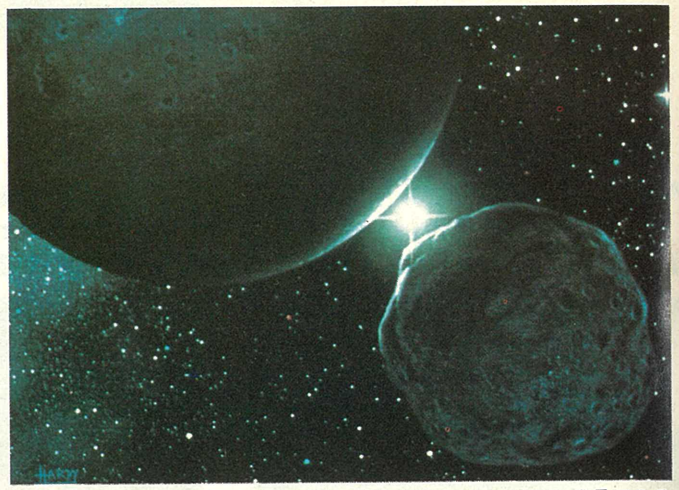
太陽から最も遠くにある太陽系内の二つの星に氷結したメタンが存在した。

● *NASA News*　1982年10月19日

ハワイ大学と NASA の天文学者が，冥王星および海王星の衛星のトリトンに，氷結したメタンの存在を発見した。これらの星は太陽からいちばん遠い天体で，他の惑星とは非常にことなっているにしても，メタンの存在は生命活動の結果ではないようである。

メタンは絶対温度で50度Kより高ければ気化し，それ以下であれば氷結する。冥王星の地表のメタンは通常氷結しているが，一部にガス状のものもみられた。一方，海王星のまわりをまわるトリトンは地球からさまざまな面がみられるが，何人かの学者は観測の結果から，トリトンの氷結メタンは地表全部をおおっているのではなく，いくつかの大陸大の断片となって存在しているものと考えている。

太陽系の形成時にちりやガスの雲に宇宙的規模の振動がおこり，そのため各惑星や衛星は，太陽からの距離によってことなる組成をもつに至ったと考えられているので，今回の観測はその面でも新しい観点をもたらすだろう。



衛星シャロンをひきつれた冥王星は直径が 3000キロほどの惑星である。

コンピュータ・チェス

チェスは，人工知能の開発のうえで最も効果的なゲームである。

● *Nature*　1982年９月30日号

コンピュータどうしのチェスの競技は，1970年以来，毎年アメリカの計算機学会(ACM)が主催しており，世界選手権も1977年以来３年おきに開かれている。

チェスは，きちんとした規則をもち，人間の知的活動を十分に必要とするゲームである。そのうえ過去の知識が蓄積・整理されていることや，腕前を客観的に点数で評価できるため，しばしば「人工知能」の研究対象となっている。

コンピュータがチェスをする際には，まず可能な手をしらみつぶしに先読みする。この先読みは樹枝状に広がってゆくが，その手を評価するための適当な方法を考え，悪手を捨てて，最良の手を選ぶ。

しらみつぶし法は，手数の少ない詰めの問題などでは有効だが，手数の多い詰めの場合はあまり有効ではない。名人級のプログラムをつくるには，チェスに関する知識や戦略をどのようにコンピュータの中であらわすか，またどのようにして手を読むかなど，まだまだ研究の余地がある。

人工の酵素

生体反応の触媒である酵素を手本にして，人工酵素の設計が進められている。

● *Science*　1982年11月５日号

生命活動には数多くの化学反応が関係しているが，それらの反応で触媒の役を果たすものが酵素である。酵素は通常100個以上のアミノ酸がつながったタンパク質で，生体内の化学反応の速度を100億倍にも高めることができる一方，基質の特定部位を見分ける特別な能力(選択性)も備えている。

このようにすぐれた酵素の特質をまねて，化学反応を自由に制御する人工酵素を設計しようという研究が進んできた。

これらの人工酵素はタンパク質ではないが，酵素の触媒としての性質と高い選択性をもつように設計される。たとえば，芳香環やステロイドの特定部分のクロル化が，デキストランなどを人工酵素として用いることで実現されている。また反応の加速性の点でも，１億倍もの速度が得られた例もある。

人工酵素の研究はまだはじまったばかりであるが，これらの研究が進めば，これまでの合成化学の方法に大きな変革がもたらされることはまちがいない。

コウモリの耳

超音波の反射を利用して外界を知るコウモリでは，外耳が重要な機能をもつ。

● *Science*　1982年10月29日号

コウモリは超音波を発信し，その反射音を聞くことによって周囲の事物を認知している。つまり，視覚のかわりに聴覚による情報を利用しているわけである。

オレゴン大学のローレンス，シモンズ両博士は，コウモリが聴覚によって物体の上下の位置関係を識別する能力は，わずか３度の高さのちがいがわかるほど正確なものであることを明らかにした。

いま，コウモリの耳珠（外耳道の入口に突きでた部分）を外側に折りたたんで外耳道をむきだしにすると，認知能力は５分の１程度に落ちてしまう。そこで，コウモリの鼓膜にマイクを取りつけ，さまざまな高さから聞こえてくる音を測定したところ，外耳道に直接はいってくる音に45から60マイクロ秒遅れて耳珠に反射した音がはいってくること，しかも二つの音の間隔は音源の高さを３度動かすと１マイクロ秒変化することがわかった。コウモリはこの変化を利用して，物体の高さを検出しているものと考えられる。



シナノホオヒゲコウモリ。コウモリの聴覚は，ヒトの視覚に相当する。

オウムガイの生態

貝殻をもつ頭足類のオウムガイは，海水をポンプで出し入れして浮力を調整する。

● *Natural History*　1982年10月号



生きた化石オウムガイ

西太平洋やインド洋のサンゴ礁(しょう)周辺にみられるオウムガイは，貝殻をもつ頭足類の生き残りとして古生物学的にも興味がある。

オウムガイは成長するにつれ新しい肉と殻を身につけるが，殻内のガスを満たした隔室を使い，海中で浮力を得ている。はじめ隔室内を満たしていた海水は，隔室をつなぐ細管から浸透により体外へ排出される。

殻の一部がこわれるとオウムガイは急に軽くなるが，細管のポンプを閉じ，新しい殻質ができるまで残りの数室への海水の注入を防ぐ。このような仕組みにより，オウムガイは殻が大きくなっても，海水中で重量と浮力の平衡を保っているのである。

グレイホール

質量がゼロのニュートリノは，ブラックホールではなくグレイホールをつくる？

● *Speculations S & T*　1982年４号

一般相対性理論によれば，太陽よりも８倍以上重い星は重力のためにしだいにつぶれてゆき，光もでてこれない領域の内側（ブラックホール）に落ちこんで，ついには重力だけがまわりの空間に残るという状態になる。

しかし，アインシュタインの一般相対性理論では，ブラックホールの中心付近にみられる高エネルギーで，かつ極微の粒子の効果を十分に説明することはできない。それには，自然界の四つの力の大統一理論が必要であるが，この理論の完成を待たずに，現象面から次のようなことも考えられるのではないかと，アメリカのラダファーは推測をのべている。

高密度で高エネルギーの物質の中心付近では，重力以外の三つの力の間にはちがいがなくなる。そこでもし，ニュートリノが量産されれば，その圧力とほとんどゼロの質量のために，中心密度は高まらず，ブラックホールまではいかない「グレイホール」程度のものができるというのである。

土星の静電気放電

土星にみられる静電気放電の源は，土星の赤道をまわる特殊な物体によるらしい。

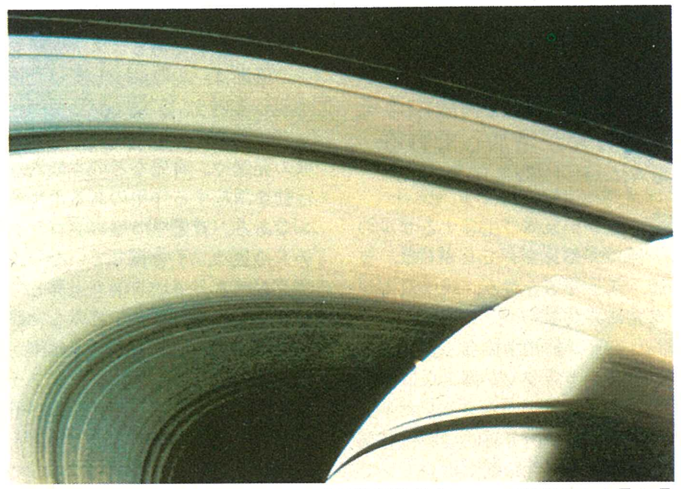
● *Nature*　1982年９月16日号

ボイジャー1, 2号による惑星電波観測で，土星に不連続的な静電気放電がおきていることがわかった。この放電の源は土星の赤道をまわる，ある物体だとするのが最も簡単な説明である。

一方，ボイジャー２号の写真偏光計のデータは，土星のＢ環の光を通さない領域内に，150メートルの幅で周囲より高い偏光値をもつ間隙(げき)のあることを示した。この間隙の位置は土星中心から半径約10万キロで，軌道周期にしてほぼ10時間ほどに当たる。

もし，放電の源がこの間隙の中にあるとすれば，この周期は，くしの歯状の間欠的な放電のデータから得られる周期と一致しなければならないが，実際にそうであることがわかった。

このことから，土星の中心から約10キロのＢ環内に一つの特殊な物体が存在し，それが軌道付近の物質に影響して幅150メートルの間隙をつくると同時に，数百キロ離れたちりとの間に放電をおこすと考えられている。



惑星探査機ボイジャーが観測した土星の環

モノポールの周辺

大統一理論から予言されるモノポールと陽子崩壊とは，深くかかわり合っている。

● *Science*　1982年10月15日号

陽子の崩壊を検出する実験は，大統一理論の正しさを裏づけるものとして，現在アメリカで実験が行われている。またモノポールも大統一理論から存在が予言されているが，最近，これらはたがいにからみ合った問題であり，陽子崩壊の実験でモノポールも見分けることができるかもしれないと，科学者たちの関心が高まっている。

モノポールは孤立した波のような存在で，中心に近づくほど，ビッグバン当時の状態（クォークも電子もニュートリノも同種の力で相互作用している状態）になる。このような状態では，クォークが反クォークや陽電子にかわりうるので，クォークからできている陽子も崩壊することができる。モノポールの大きさは，クォークにとって点みたいなものだが，最近の計算では，クォークはモノポールの大きさに関係なく反応する。その際にモノポール１個から60個ほどの陽子崩壊が検出され，モノポールの速さや方向もわかるはずであるという。

CAES発電

圧縮空気の形で地下にエネルギーを蓄え，必要に応じて発電する CAES 方式。

● *EPRI Journal*　1982年10月号

火力発電や原子力発電では揚力発電所を備え，余った電力でポンプをまわし水を高い貯水池に上げてエネルギーを蓄えている。しかし，平らな地形の場所ではそれができない。

そこで，圧縮空気の形で地下にエネルギーを蓄える方式(CAES)が登場した。この方式は，まず余った電力で電動発電機をモーターとして動かし，空気を地下約 600メートルにある空洞に送りこみ，60気圧程度で蓄えておく。電力が必要な場合，圧縮空気でタービンをまわし，電動発電機を今度は本来の発電機として使うというものである。

最近アメリカのソイランドで，約21万立方メートルの岩をくり抜いて空洞をつくり，22万キロワットのCAES発電を行う計画がはじまった。地上の貯水池と地下の空洞をトンネルで結び，空洞中の水の量を調整して圧縮空気の圧力を一定に保つようくふうしたもので，計画では，1987年から稼働できる予定である。

文字を見分けるハト

ハトがアルファベットの文字を見分ける過程は，人間と共通しているらしい。

● *Science* 1982年10月22日号



ハトも文字を見分けられる。

アメリカのブラウン大学のブロー博士は，ハトにとってアルファベットがどのようにみえているのかを調べてみた。

まず，ハトの前のブラウン管に3個の文字が示される。このうち2個は同じ文字で，ハトは1個しかない文字に対応したキーをつつくとエサがもらえる。このような条件反射で，アルファベットの文字すべての組み合わせについて，ハトがまちがえる頻度を集計し，それを分析した。

結果は，人間について行った場合とよく似ており，たとえば，ハトは，UとV，DとOなどの組み合わせはよくまちがえるが，PとZなどはほとんどまちがえなかったという。

マイクロ立体写真

X線レーザーを用いて，微小な生体分子の立体構造をみることが可能になる。

● *Science* 1982年10月15日号

立体写真のためのホログラフィーを得るには，位相のそろった光を用いて物体光と参照光の干渉縞をつくる必要がある。現在そのために使われているのはレーザー光で，波長は数千オングストロームのものである。したがって，生体分子など数十オングストローム以下の物のホログラフィーを得ることはこれまではできなかった。

現在開発中のX線レーザーは，パルス状の位相のそろった強力な光を発生するもので，この光を用いれば，ある瞬間の微視的な生体成分の立体像を生きたままの状態で観測することができる。

生体成分を最適のコントラスト，感度，分解能で得るには，タンパク質や核酸に含まれる窒素の共鳴吸収波長(30オングストローム)を用いればよい。この光では，窒素を含まない水や炭水化物はほとんど散乱されないから，目的とするタンパク質や核酸だけが観測されるわけである。ウイルスや卵細胞などの立体像が得られれば，また新たな発見がつけ加わるだろう。

女性化するサルの雄

育児中のコモンマーモセットの雄は，乳腺刺激ホルモンの分泌が増加している。

● *Nature* 1982年10月7日号

ブラジル東部に生息するサルの一種，コモンマーモセットは，普通，双子の子を産み，雌雄双方が育児にあたる。

ロンドン動物学協会，動物学研究所のA.ディクソン博士らは，双子の子を育てているコモンマーモセットの雄の内分泌的な変化を調べたところ，乳腺刺激ホルモンであるプロラクチンの量が増加していることがわかった。また，逆に男性ホルモンであるテストステロンの濃度は，少し減少していた例が多いという。

プロラクチンは，哺乳類では乳腺の発達や，育児などの本能的な行動を誘起する作用のあるホルモンである。育児中の雄のプロラクチンの量は，子を育てていない雄とくらべると平均5倍も上昇しており，これは授乳をしていない雌のレベルに匹敵する。とくに雄が子を運んでいるときにプロラクチンの上昇がはげしいことから，子と体を接触させていることが，上昇に重要な役割を果たしているのではないかと考えられている。

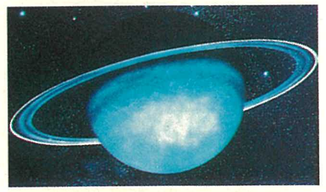


双子の子を産み，雌雄双方で育児にあたるコモンマーモセット

天王星の環

天王星の環はだ円状のリボンで，ほとんどが赤道面に対して傾いている。

● *Science* 1982年10月15日号



傾いた環をもつ天王星

MIT（マサチューセッツ工科大学）のフレンチとエリオットは，これまでに知られている天王星の9本の環のうち，少なくとも7本は赤道面に対して傾いていると発表した。傾斜度は，最大数百分の1度である。この傾斜により，第6環の場合，赤道面から50キロメートル，天王星からは4万2000キロメートル離れることになる。

幅30億キロメートルにおよぶ環のこのような不規則性は，天王星の環のために次々とおこる，他の星の食の観測から明らかとなった。この環の傾斜は従来の理論ではまだうまく説明できないが，それぞれの両側をまわる目にみえない小さな衛星によるものだろう，という説もある。

人工血液の開発

動物実験により，ほぼ完全なものとみられる人工血液が開発された。

● *USSR S & T* 1982年10月5日

大人の体には約5リットルの血液が流れている。けがや手術などで，そのうちの1リットルも失われると生命は危険になり，輸血が必要になってくる。しかし，血液の提供にはおのずと限度があり，輸血用の血液はつねに不足している。

最近，ソビエト連邦厚生省の血液学および輸血に関する中央研究所で，動物を用いた実験から新しい人工血液が開発された。この人工血液は，パーフルオデカリン(デカリンの水素をすべてフッ素に置換したもの)を，これまで用いられてきていた人工血漿に溶かしたものである。パーフルオデカリンは，界面活性剤の存在の下では安定な乳濁液をつくり，酸素運搬をはじめ，血液の機能のほとんどを代行することができる。

動物実験では，動物の全血液をこの人工血液で代用しても，その健康状態にまったく変化はなく，約2週間後に，その動物が自分で血液をつくったために不要となった人工血液を除いても，なんの副作用もみられなかったという。

だ円銀河の中心核

特異な中心核をもつ電波銀河IC5063は，クェーサーと通常銀河の中間形態か？

● *Nature* 1982年9月16日号

可視光線では構造を知ることのできないだ円銀河の中心核も，赤外線で中をみることができる。最近，イギリスとオーストラリアの天文学者チームが3.9メートル望遠鏡で4個の活動的なだ円銀河の赤外域測光観測を行った。このうちIC5063について，外周部分のスペクトルは普通のだ円銀河と同じだが，中心核部分に異常に強い赤外線源のあることがわかった。

この赤外線異常放射の解釈の一つは，高温のちりからの熱放射によるとする説だが，そのような熱放射ではでないはずの直線偏波が検出されたので，それは否定された。むしろ非熱的なスペクトルを示す，とかげ座BL天体のようなものが，ガスの豊富な銀河中心にあると考えられる。それはまた，「赤い」クェーサー，つまり赤外線放射の強いクェーサーと似ていることもわかった。

このような銀河核のスペクトルの研究は，そこで進行中の物理的過程と，電波銀河の起源を解き明かす手がかりをあたえるだろう。



ろ座の銀河団。中央に巨大なだ円銀河がある。

パンゲア大陸

古地磁気学は，パンゲア大陸が20億年近く存在していたことを示唆している。

● *Nature* 1982年9月16日号

現在いくつかに分かれている大陸は，その昔ただ一つのかたまり(パンゲア大陸)であった。これは今世紀のはじめ，いくつかの地質学的証拠からウェゲナーが提唱した「大陸移動説」の出発点となるものである。

その後，1950年代ころから古地磁気学の進歩とともに，大陸移動が今から1億数千年前におこったこと，したがってパンゲア大陸が，それ以前に存在していたことが認められるようになった。しかし，パンゲア大陸が，はたしていつごろから存在したのかについては，よくわからなかった。

これについて，原生代（約26～6億年前）の大陸の岩石を調査し，オーストラリア・中国・インド・北アフリカなどの大陸塊について極移動の軌跡を求めた結果，パンゲア大陸は原生代の間中ずっと存在していたらしいことがわかった，と地球科学者のパイパー博士は発表している。パンゲア大陸のリソスフェアはかなり厚く，分裂しにくかったものと思われる。

もうすぐ繁殖期

同じ部屋に移されたキンチャンの影響で，トキ夫婦はますます仲良しに。

● トキ通信

新潟県トキ保護センターでは，昨春，人工繁殖のため飼育されているトキ4羽のうち，あしに緑のリングをつけた雄と，白のリングの雌とのペアリングに成功した。

さらに，10月には雌のキンチャンを緑と白の部屋に移し，雄1，雌2の見合いを試みた。

トキはこれまでに，野外のものでの観察例から，一夫一婦のつがいをつくり，繁殖終了後も行動をともにするほど，夫婦のきずなが強いといわれていた。

したがって，この試みは一夫多妻の可能性を確かめるものではなく，白と緑，キンチャンと緑のどちらが，より相性がよいかを知ろうというものであった。

その結果，近辻主任技師らになれているキンチャンが同室になったため，白・緑の警戒心が少なくなったこと，また，あぶれている雌が1羽加わったことにより，白・緑の間の親密さが増したことなど予想以上の効果が上がっている。

これで，今シーズンの繁殖への望みがさらに強まりそうだ。

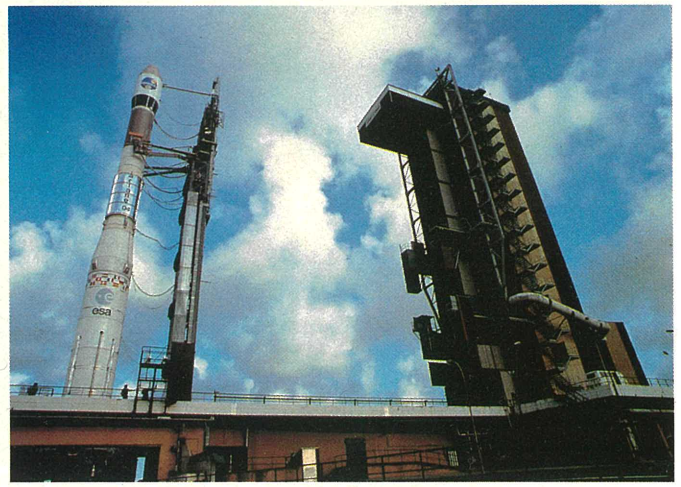
アリアンロケット

ヨーロッパ宇宙機関のアリアンロケットは，はたしていつ打ち上げられるのか。

● *Science* 1982年10月22日号

ヨーロッパ宇宙機関(ESA)のアリアンロケットは9月はじめの打ち上げに失敗したが，そのため次の打ち上げは早くて83年1月，遅ければ4月まで延期となるもようである。また，それにともない，11月に打ち上げ予定であったX線調査衛星エクソサットも，1月24日の最終期限に間に合わない場合は5月まで待つことになる。かわりの衛星候補としては，ヨーロッパの宇宙通信を担当しているユーテルサット協会の通信衛星EZN-1になるものと思われる。

9月の失敗でESAは衛星を2個失った。失敗の原因は燃料の液体水素と酸素を混合するターボポンプの故障と推定されている。この解決は1980年の失敗の時ほどむずかしくはないと思われるが，いずれにしても重なる失敗でESAに衛星打ち上げを依頼している依頼者(たとえばインテルサットなど)の信用を少なからず失ったもようである。ESAの関係者は打ち上げ前とはうってかわって，さえない様子であるという。



ESAが開発したアリアンロケット

有珠山の1977-78年噴火

4年8か月にわたる活動のあとを振り返り，その将来を考える。

勝井義雄

デイサイト質マグマによる噴火

1982年5月18日に火山噴火予知連絡会は，有珠山が1977年8月7日の噴火以来4年8か月を経て，事実上活動を終息したと宣言した。この噴火は，最近の日本における火山活動としてはめずらしく，ケイ酸にいちじるしく富むデイサイト質マグマ（SiO_2 68%）によってひきおこされたものである。この種のマグマは，玄武岩や安山岩質のマグマよりも粘性が高いため，爆発的な噴火をおこし，活発な火山性地震や顕著な地殻変動をともなうのが特徴である。北アメリカのセントヘレンズ山の1980年大爆発も，こうしたデイサイト質マグマによるものである。

有珠山の今回の活動の推移をたどり，さらにこの火山の将来の噴火について考えてみることにしよう。

はげしい軽石噴火で幕を開けた

1977年8月7日朝，有珠山では火山性地震がひん発しはじめてから，すでに30時間を経過していた。この火山では1663年以来，過去6回の噴火とも火山性地震が先行していた。北海道大学と気象庁の観測陣は，今回もすでに地下のマグマが活動しはじめたと判断し，地震観測や地表パトロールを開始していた。このとき，山頂の火口原を視察中の牧場の人が，落差40センチの新しい正断層を発見し，9時12分にはげしい噴火に遭遇した。

デイサイトの軽石・火山灰を含む灰色の噴煙は，1時間半後には高さ12キロまで上昇し，偏西風に流されて東方に降灰した。この噴火は2時間余りで終わったが，その後も大小の噴火が続発した。

9日早朝には，洞爺湖・壮瞥温泉地区の住民は避難を余儀なくされるようになった。しかし14日未明には，マグマの発泡度が減少し，多数の火山岩塊やパン皮火山弾などを放出して，噴火がいったん終了した。この1週間にわたる噴火で，小有珠東麓に第1～3火口，火口原北部に第4火口が開かれた。

軽石・火山灰は，山頂部で厚さ約1メートル，山麓で30～50センチ堆積し，総噴出量は8300万立方メートルに達した。大型の火山弾や火山岩塊は，最大初速毎秒220～240メートルで放出され，火口から約2キロの範囲に落下し，森林やロープウエイ山頂駅などを破壊した。軽石が厚く堆積した山麓の住宅の一部は破壊され（全壊8，半壊4），また収穫直前の農作物や森林も広範囲にわたって，降灰の被害を受けた。こうした農林災害だけで被害額は188億円に上った。



有珠山噴火の夜景。1978年9月12日午後10時32分，南麓から。

火口原に新山が成長しはじめた

揮発成分（主に水）に富むデイサイト質マグマがはげしく発泡して噴出したあと，残りの水にとぼしいマグマはさらに上昇をつづけた。デイサイト質マグマは，水が少ないと粘性がきわめて大きくなるので，細い火道を通って地表に噴出しにくくなる。このため火山性地震をひん発しながら，火口原の隆起がつづけられた。

噴火直前に発見された小さな正断層は，小有珠の北東麓からオガリ山を通り，大有珠にかけて，延長約1キロメートルの大断層に発達した。また北東側の火口原中央部は，北東に移動しながら隆起した。1910年の活動で北麓に生まれた明治新山（四十三山）のように，地下のマグマにおし上げられて，新しい潜在円頂丘が成長しはじめたのである。

こうした地殻変動の影響は，外輪山北壁から北麓におよび，建造物が徐々に破壊されはじめた。

3か月の休止のあと噴火を再開

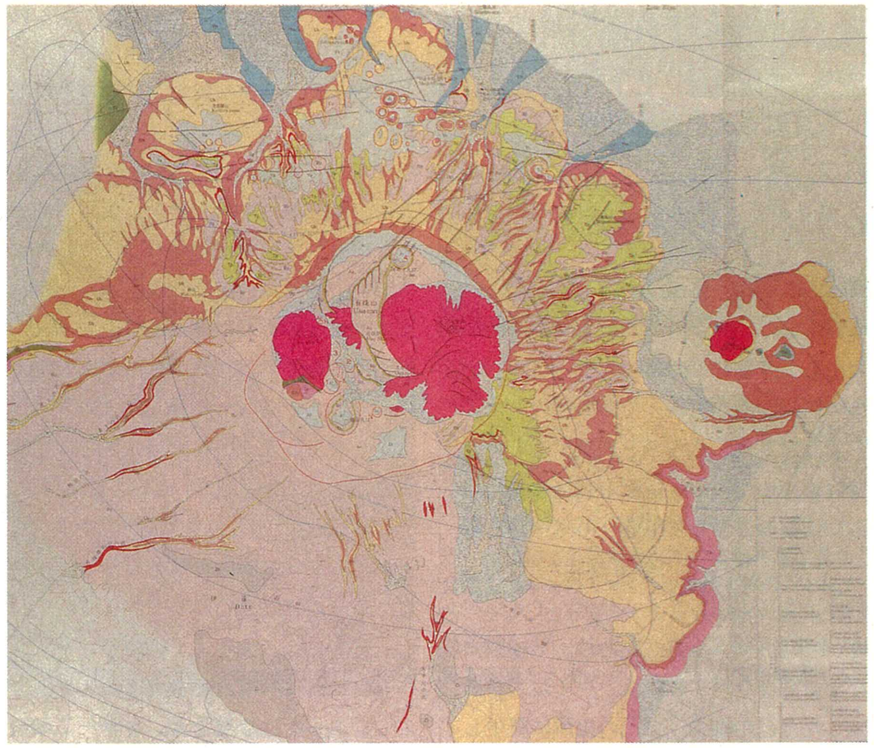
マグマの上昇にともなって噴気地帯が拡大し，11月16日に小規模な水蒸気爆発がおこった。その後，活動はしだいに大きくなり，翌1978年の7～9月には中規模のマグマ水蒸気爆発～マグマ噴火も発生した。この噴火は10月27日に終わった。この活動で，大断層の南側にA～N火口が開かれ，噴出物は火口原で厚さ約1メートル，山麓で数センチ堆積し，総噴出量は750万立方メートルに達した。そして，農作物や森林にふたたび大きな被害をもたらした。

さらに，火山灰が地表をおおったため，雨水の浸透性が悪くなり，10月16日と24日の雨によって，山麓のほぼ全域で泥流（土石流）が発生した。家屋の全半壊，浸水などがおこり，死者2名，行方不明者1名の犠牲がでた。この泥流をもたらした雨は，1日の降雨量がわずか20～30ミリの雨にすぎなかった。

噴火開始以来，有珠山では泥流の警戒体制がとられ，大規模な治山，砂防工事が進められた。泥流を洞爺湖に導く5本の排水溝がつくられ，空中から牧草の種子をまいて植生の回復もはかられた。

地震活動と地殻変動は，その後，衰えながらもつづいた。新しい潜在円頂丘は約180メートル隆起し，有珠新山と命名された。外輪山北東部は180～190メートル外側にふくらみ，多数の断層で切られて崩壊しはじめた。北麓一帯では，地盤の圧縮，断層，亀裂が徐々に進み，家屋などの被害は236棟（うち全壊74棟）におよんだ。また道路，上下水道，温泉源などの各種施設も大きな被害を受けた。

1982年3月，地震活動と地殻変動は急に衰え，今回の活動は終了した。有珠山は，ふたたび長い休止期にはいったように思われる。



1980～1981年の調査に基づいてつくり直された「有珠火山地質図」

有珠山の次の噴火を予測すると

有珠山は将来，また活動期にはいるときがくるであろう。近年の有珠山は，30～50年の休止期を経て，噴火を反復している。今回の噴火も，昭和新山が生まれてから32年目におきた。このような反復性は，長期的な噴火予測のうえで，今後も重視されよう。また直前の噴火予知では，噴火に先立つ顕著な地震活動や地殻変動などが注目される。

将来の噴火地点としては，有珠山山頂部を含む北西－南東の地帯と，これに平行する北麓地帯が考えられる。この地帯は，洞爺カルデラ南壁の内側に相当しており，地盤が弱く，マグマの通路となるだけでなく，地殻変動も受けやすい。

噴火様式は，マグマの性質や活動の行われる環境に支配される。歴史時代における有珠山のマグマは，流紋岩質（SiO_2 73%）からしだいにケイ酸が減少して，デイサイト質になっている。将来も，デイサイト質マグマによる軽石噴火のおこる可能性が大きく，過去3回の山頂軽石噴火（1769，1822，1853）のように，破壊的な火砕流をともなう危険もある。

山麓では軽石噴火はおこっていないが，上昇するマグマが豊富な地下水に接触して，1910年の活動のような，はげしい水蒸気爆発を発生することも予想される。

山頂，山麓のいずれの噴火でも，明治新山や有珠新山のような潜在円頂丘か，小有珠や大有珠，昭和新山のような溶岩円頂丘がつくられるであろう。

数十年におよぶ休止期の間に，破壊された植生は回復し，住民の世代がかわって，噴火災害も忘れがちとなろう。

「天災は忘れた頃に来る」

という寺田寅彦先生の言葉を忘れてはならない。

種属共通がん抗原

キラーT細胞は，ヒトでもマウスでも抗原さえあれば攻撃する。

谷口　克

抗原と結合するレセプター

免疫系は，外からの病原菌や生体内に発生した腫瘍などの異物をやっつける生体の防御機構である。生体の免疫系によって認識され，免疫系を刺激するものを，抗原とよんでいる。抗原を認識する仕組みには質のことなる二通りの方法がある。

一つは，Bリンパ球(B細胞)がつくる抗体による方法，もう一つは，Tリンパ球(T細胞)による方法である。T細胞のなかでもキラーT細胞は，ウイルスが感染した自己の細胞，自己の生体に発生したがん細胞，あるいは，移植された臓器や組織片などを攻撃し破壊する。

これらの抗体やT細胞には，抗原を認識する構造が存在し，センサーとして働くばかりでなく，直接抗原と結合する。したがって，非常に厳密な抗原特異性が存在する。

キラーT細胞がいかに働くかを理解することは，制がん研究の最も重要な部分の一つとして，免疫学者たちに注目されていた。ウイルス感染細胞を用いたこれまでのモデル実験の結果から，キラーT細胞について考えられていたのは，次のようなことであった。

すなわち，キラーT細胞は特定の抗原を認識して細胞を殺す「抗原特異性」をもつが，同時に「遺伝的拘束性」，つまり，種属のちがう細胞は攻撃しないという性質をもっているということである。

このことは，キラーT細胞のレセプター(接合部分)の構造を知るうえで重要なことであった。なぜなら，キラーT細胞のレセプターは抗体とちがって，ことなる二つの認識機構（ウイルスを識別するレセプターと自己を識別するレセプター）によってできていると考えられたからである。

種属を超えるキラーT細胞

それでは，なぜ，キラーT細胞だけがこのような複雑な認識機構をもつのであろうか？また，キラーT細胞が，抗原特異性のみならず遺伝的拘束性をもつことは，モデル実験だけでなく，自然発生がんの場合にもあてはまるのであろうか？

これらの素朴な疑問に答えるために，われわれは，ある系統のマウスに自然発生したメラノーマ(悪性黒色腫)細胞（B16株化細胞）に特異的なキラーT細胞を誘導して調べてみた。

がん細胞は宿主である自己の細胞ががん化したものであるから，正常な自己成分のほかにがん化にともなって発現されたがん抗原をもつことになる。したがって，がん細胞を正常な同系統のマウスに接種することによって，がん抗原に特異的なキラーT細胞だけが誘導される。

このように誘導されたキラーT細胞は，がん細胞を破壊する場合に厳密な抗原特異性を示し，B16メラノーマ細胞以外のマウスのがん細胞（神経細胞腫，繊維肉腫など）を殺すことはなかった。

ところが，このキラーT細胞は，ヒトのメラノーマ細胞も同程度に殺したのである。つまり，マウスのキラーT細胞がヒトのメラノーマ細胞を破壊したわけである。この場合，遺伝的拘束性はなかったことになり，従来考えられていた自己を識別するレセプターの存在を考えなくてもよいことを示していた。

種属共通がん抗原は存在した。

この結果は，免疫学上，革命的ないくつかの問題を提示することになった。すなわち，キラーT細胞が認識できるがん特異抗原の存在が証明されたこと，メラノーマ細胞には種属間に共通して存在する抗原があること，キラーT細胞が攻撃目標を認識する仕組みは，抗原を識別するレセプターがあるだけで十分であること，などである。

それでは，ウイルス感染細胞を標的とした場合には遺伝的拘束性が認められ，メラノーマ細胞の場合には，なぜこれが認められなかったのであろうか？

ウイルスが細胞に感染するとき，ウイルスは宿主の細胞成分に親和性があるため，宿主細胞は変質させられる。このウイルスが変質させた宿主の細胞成分を，キラーT細胞は異物として認識するために抗原とともに自己成分を認識し遺伝的拘束性が出現したのであろう。

このように考えれば，キラーT細胞のレセプターは，抗原を識別するレセプターだけで十分であり，基本的には自己を識別するレセプターはなくてもよいことになる。

次に，この種属間に共通のメラノーマ抗原を免疫化学的に解析するために，細胞融合を用いて，モノクローナル抗体を作製した。モノクローナル抗体は単一特異性しかもたないため，従来の抗血清にくらべて特異性はいちじるしく高い。

M2590とよばれるモノクローナル抗体は，ヒト，マウス，ハムスターのメラノーマ細胞とは反応したが，ヒトやマウスのほかのがん細胞（子宮頸(けい)がん，神経芽細胞腫，扁平上皮がんなど）とはまったく反応しなかった。また，正常メラノサイト(表皮の黒色素胞)とも反応せず，メラノーマ細胞にだけ存在する抗原を識別していることは明らかであった。

さらに，M2590に螢光色素を結合させ，メラノーマ細胞上の抗原の表現状態をみてみると，ほとんどの細胞がこの抗原をもっていた。また，物理化学的な解析からは，ヒトでもマウスでも3万1000という同一の分子量をもち，非常に酸性の強い糖タンパクからなることも明らかになった。

臨床面への効果も期待できる。

このような共通メラノーマ抗原がなぜできるかについては，今のところ不明であるが，いくつかの可能性を想像することはできる。

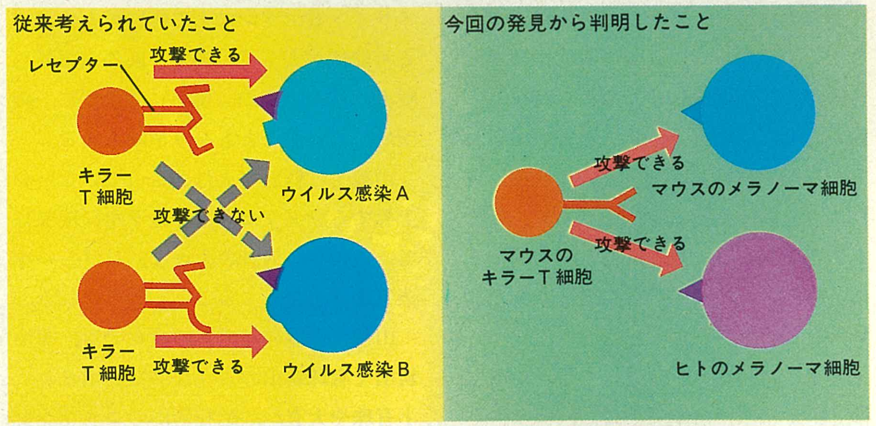
細胞のがん化にともなって，この抗原性を決定づける特定の酵素が産生され，共通抗原を形成するのかもしれない。また，発がん遺伝子と密接に関係している特定の遺伝子の産物であることも想像できる。さらに，外から特定の遺伝子を持ちこむことのできるウイルスが，各動物種のメラノサイトだけに強い親和性をもち，メラノサイトのがん化に関係しているという可能性もある。

共通メラノーマ抗原を認識するモノクローナル抗体の有用性は，はかり知れないものがある。最近この抗体を用いて，1グラムの中にヒトのメラノーマ細胞が500個から1000個存在すれば検出できる高感度な検出法が開発された。さらに，アイソトープでラベルされたこの抗体を静脈注射し，生体内の腫瘍巣をオートラジオグラフィーで診断することもできる。

しかし，なによりも，共通がん抗原を認識する抗体を用いることによって，動物モデルからヒトへの応用の間に横たわっていた壁が取り除かれたことが大きい。得られた動物実験の結果が，そのままヒトに応用できるという画期的な進歩をもたらしたのである。

ごく最近，神経芽細胞腫にも同様な共通がん抗原の存在が証明できた。これは，さらに多くのがんでこの種の抗原性の発現があることを物語っている。

今後，この共通がん抗原の生物学的意味を，分子・遺伝子レベルで解明することは，がん化のメカニズム，がん特異抗原の本態を明らかにするためにも重要なかぎとなろう。

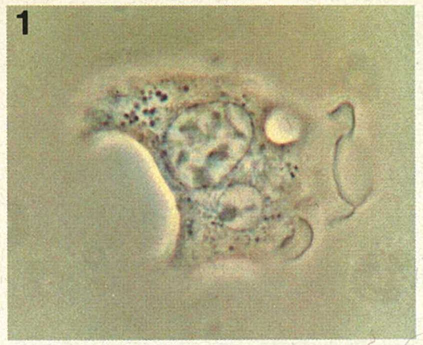


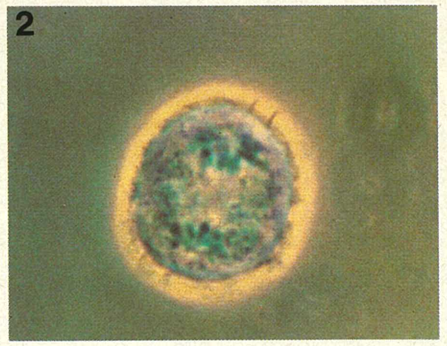
実験結果から考えられた模式

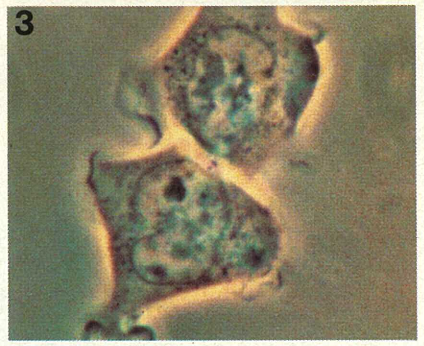
従来のウイルス感染細胞を標的に用いたモデル実験の研究から，キラーT細胞は「抗原特異性」を示すと同時に，「遺伝的拘束性」をも示すものと考えられてきた。

すなわちウイルス感染細胞Aを殺すことのできるキラーT細胞は，同じウイルスが感染していても種のことなる細胞Bを殺すことはできない。このことから，キラーT細胞にはことなる二つの認識機構（ウイルスを識別するレセプターと自己を識別するレセプター）があると想像されていた。

メラノーマ細胞を標的にした場合には，ヒトおよびマウスのメラノーマ細胞を同程度に破壊した。したがってキラーT細胞には，抗原を識別するレセプターだけが存在し，自己を識別するレセプターは存在しないものと考えられる。







モノクローナル抗体をつくる。

メラノーマ細胞を標的にして誘導したマウスの抗体産生細胞(リンパ球)とミエローマ(骨髄腫)細胞を，ポリエチレングリコールで融合する。

1――融合直後のヘテロカリオン(異核接合体)：同一胞体内に，2種類のことなった核をもつ。

2――分裂：2種類の細胞の分裂周期が合うと分裂してシンカリオン(合成接合体)になる。

3――シンカリオン：シンカリオンは，2倍の染色体をもつ。したがって，2種類の細胞の性質を発現し，モノクローナル抗体を産生する。

ミツバチ

女王をめぐる大家族集団のきずな

写真 栗林 慧
解説 大谷 剛

ミツバチは大家族集団を構成する。母であるたった1匹の女王バチ。集団の大多数を占める働きバチ。そして，働きバチと兄妹または姉弟の関係にある雄バチたち。この血縁の大集団は，独自の生活を展開する。ミツバチの集団生活とはどういうものなのか。そこでは，どのようなメカニズムが働いているのか。昆虫写真家栗林慧の写真でミツバチの驚異に満ちた生活を探る。



コスモスの上で花の蜜と花粉を集める働きバチ。後あしには花粉だんごがついている。



花にやってきた働きバチ。仕かけられた赤外線ビームでみずからシャッターを切る。

マリーゴールドの花の直前に赤外線ビームを張り，横切った瞬間２万分の１秒のストロボが発光する。これくらいの短時間で撮影すると，毎秒250回といわれるミツバチの羽ばたきもストップして印画される。ミツバチのはねは４枚であるが，２枚ずつかぎでひっかけ，あたかも２枚のように使う。

女王バチは，女王物質を分泌して働きバチをコントロールする。

ミツバチは，花の蜜と花粉だけを食物としている。あとは巣をつくるためのしゃへい空間さえあればよい。蜜と花粉を貯蔵し，子供を育てるための巣房(そうぼう)は，すべて自分たちの腹部から分泌されるろうでつくる。一つ一つが六角の巣房であり，これが両側から使える形で天井から板状に下がる。狭い空間の利用法でこれ以上の合理性は考えられないほどだ。

ミツバチが他の昆虫と極端にちがう点は，ものすごい数の個体がいっしょにすんでいることであろう。普通の大きさの群れで２万匹程度，多いときには10万匹に達する。これだけならアリやシロアリにも同程度のものがみつかる。これらとちがうのは，すべて飛ぶためのはねと筋肉をもっている点である。１匹１匹の飛翔筋(ひしょうきん)は，小さなヒーターとなり，蜜という燃料さえあればしゃへい空間はすぐに暖まる。ミツバチの巣の中心部に温度計をさしこんでみると，おどろくほど安定で，35～36度Cを示す。まるで巣全体が，１匹の恒温動物のようだ。

ミツバチの巣内では，女王バチと働きバチと雄バチが区別される。雄バチは未受精卵から産まれる。女王バチと働きバチは雌で，どちらも同じ受精卵から産まれる。女王バチは働きバチの咽頭腺(いんとうせん)から分泌される栄養満点のロイヤルゼリーだけで育てられる。ふ化後４日めから働きバチのえさは，花粉と蜜の混合物にかえられる。その結果，卵巣は退化し，腹部は小さくなるが，後あしの花粉かごなどは発達する。働きバチが雌である証拠に，産卵管の変化した毒針をもつ。毒針には列になった逆鉤(さかかぎ)がついているので，刺すと抜けなくなり毒のうとともに刺した所に残る。傷口からは体液が流れでて，数時間後に働きバチは死ぬ。女王バチの毒針には逆鉤がついていないので，刺しても死なない。

女王バチは，大あごから「女王物質」とよばれる複合化合物を分泌する。女王物質は，働きバチの行動や生理をコントロールして群れをまとめていく効果をもつと考えられている。



葉上にこぼれたハチミツを吸う働きバチ

雄バチの巣房は働きバチの巣房より3～4割大きい。女王バチは巣房のサイズで雄バチと働きバチを産み分ける。

働きバチ，雄バチ，女王バチは，それぞれ別の巣房で育てられる。雄バチの巣房は，５月，６月の花の時期につくられ，働きバチの巣房より３～４割大きい。巣板の下のほうによくつくられる。女王バチが産卵する第３の巣房は「王椀（おうわん）」とよばれるものだ。これは，巣板の最下方にお椀のような形につくられる。ここに産みつけられた卵がふ化すると，それは「分蜂王台（ぶんぽうおうだい）」とよばれる女王育児専用の巣房に発展する。

働きバチの巣房と王椀には受精卵，雄バチの巣房には未受精卵が産みつけられる。これには，どのような産み分けのメカニズムがあるのだろうか。

一時考えられたのは，圧迫説である。女王バチが働きバチの巣房に産卵するとき，腹部が房壁に圧迫され，その圧力が腹部内の貯精のうの入口の弁を開き，貯精のう内の精子がそこを通過して卵内にはいる。雄バチ房は大きいので圧迫が足りず，精子は卵内にはいれない，というわけだ。なかなかうまい説明だが，事実と合わない点がいくつかある。女王バチは，まだできかけのごく浅い巣房にも産卵する。このとき，房壁の圧迫はない。また，雄バチ房をのぞきこんだ女王バチが，あやまって働きバチ房へしりを突っこんでしまうことがある。そこへ産みつけられた卵からは，雄バチが誕生するのだ。

ケーニガーの実験によると，産み分けには女王バチの前あしが関係しているようだ。前あしの一部を切り取ったり，前あしに何かを張りつけたりすると，雄バチ房へ受精卵を産むようになるという。女王バチは産むべき巣房をのぞきこんだときに，前あしの感覚器を用いて巣房のサイズをはかり，自分の意思で貯精のうのバルブを開くのであろう。王椀の入口のサイズは，働きバチの巣房と同じくらいである。



雄バチの巣房をのぞく女王バチ。雄バチの巣房は働きバチの巣房よりひとまわり大きいので，女王バチは胸までもぐりこむことが多い。

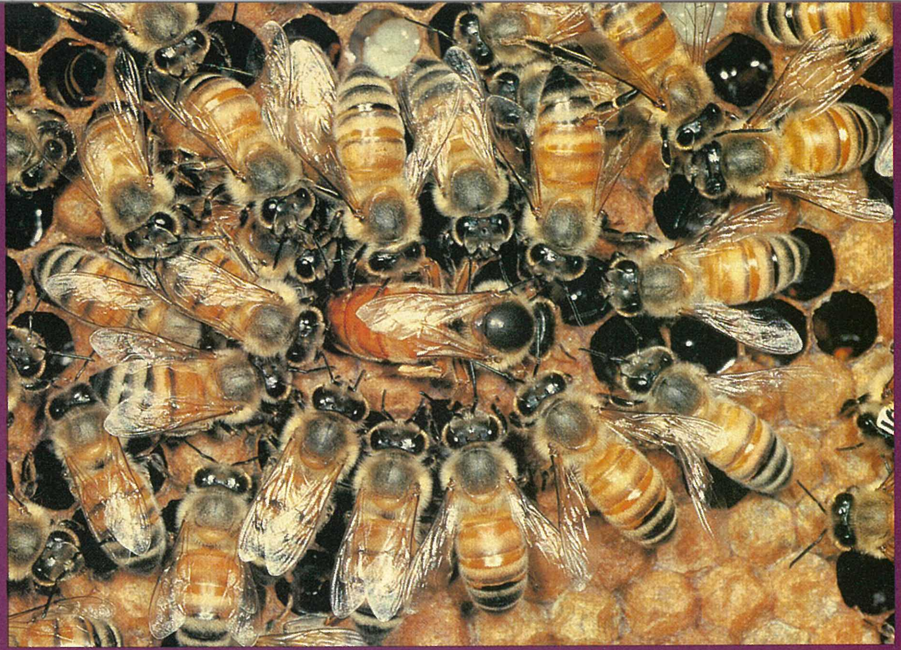


働きバチの巣房をのぞく女王バチ。頭部しか巣房に入れない。この巣房に産みつけられる卵は，受精卵である。



出房する雄バチ。巣房にあおむけにはいっているので，出房するとき上へあしをかけやすい。働きバチも同様である。雄バチは働きバチにくらべ複眼が大きく，体もずんぐりしてひとまわり大きい。





働きバチを“従えて”いる女王バチ。この働きバチによる環状包囲をロイヤルコートという。

働きバチたちが女王バチを取り巻くロイヤルコート。女王バチは働きバチたちの攻撃性を抑制している。

女王バチは，蜂群の中では母の立場にある。「女王」というイメージは，いつも働きバチに取り囲まれている状態が，召し使いにかしずかれる女王を連想させるからであろう。この取り巻きの働きバチたち，または取り巻いた状態を「ロイヤルコート」とよんでいる。

ロイヤルコートの働きバチの行動をよく観察すると，女王に飛びつこうとしながら“パッ”と退き，また前に突進するというくりかえしをする個体が目につく。かしずいた召し使いのイメージではなく，まるで攻撃でも仕かけているようにみえる。

自巣の女王バチにロイヤルコートをつくる働きバチは，他巣の女王バチにはどう反応するか。試みに，となりの巣の女王バチを捕らえてきて放す。働きバチたちはひどく興奮して，このあわれな女王バチを中心に幾重にも重なり，丸いボール状になる。これを「ボーリング」とよぶ。この中の女王バチは，必ず働きバチに刺し殺される。このボーリングの変形がロイヤルコートで，攻撃抑制が加わったもの，と私は考えている。

狭い空間でひしめき合っているのだから，働きバチのあいだで争いがあってもよさそうだ。女王バチが巣から消えたとき，それがおこる。争いといっても，１匹以上の攻撃者と逃げまどう１個体である。

以上のことから，一つのアイデアが思い浮かぶ。ロイヤルコートは，働きバチの攻撃性を高めておいて，殺されない程度に抑制している状態をいうのではないだろうか。

狩人バチの仲間から進化したらしいミツバチは，まだ十分な攻撃性を残している。巣内では「おさえて」おく必要がある。ただし，「なくす」わけにはいかない。甘い蜜に近づく動物がいるからだ。そこで，女王バチが攻撃性を高めておいて抑制する。おさえられた攻撃エネルギーは，近づく外敵に対して集中“蜂”火される。

産卵を終え腹部を巣房から抜きかけている女王バチ。産卵，休息，体の手入れなど女王バチの動きが少ないときはいつでもロイヤルコートができる。ロイヤルコートの働きバチのなかには，はげしい前後運動をくりかえすものがいる。

ロイヤルコートとボーリングとは紙一重なのではないか。また，産卵する働きバチが出現することもある。

ロイヤルコートとボーリングが相互に変容する例がいくつかある。その差は，紙一重というところだろうか。

あるとき，巣箱のふたを乱暴に開けた。ほんの1，2分だったが，ロイヤルコートをつくっていた働きバチは，ボール状に集合した。

女王バチの産卵力が衰えると，この母女王がいるにもかかわらず，娘女王が羽化する場合がある。どういうわけか，処女王どうしのようなはげしい闘争はおこらない。しかし，私は，母女王のロイヤルコートが，ある日突然ボーリングにかわったのを観察した。娘である働きバチに殺されたのである。

女王物質は，王台形成と働きバチ間の攻撃の抑制のほかに，働きバチの卵巣発達をおさえている。巣から女王バチがいなくなり，女王バチにすべき幼虫がいない場合，働きバチの卵巣発達が表面化する。すなわち，産卵する働きバチの出現である。数匹から十数匹の彼女らは，他の働きバチの攻撃を受けることが多い。そのなかから攻撃を抑制できる産卵バチがでてくる。まさにロイヤルコートそっくりである。北海道大学の坂上昭一教授は，これを擬女王(フォールス・クイーン)とよんだ。おそらく，女王物質をだしているのだろう。擬女王があらわれると，何匹もいた産卵バチがしだいに姿を消すのである。ただし，働きバチ間の攻撃は少なくはなるがなくならない。擬女王が本物でない証拠だろうか。



観察巣箱の中に出現した擬女王(No.00)。働きバチの数は少ないが，女王バチのロイヤルコートと似たものができている。この擬女王は，はじめ産卵していたが，そのうちやめてしまった。



はげしい攻撃的な動きをする働きバチに取り囲まれた母女王。この攻撃的な球状包囲をボーリングという。産卵力の衰えた母女王はしばらく娘女王と共存したが，ついにボーリングされ刺し殺された。



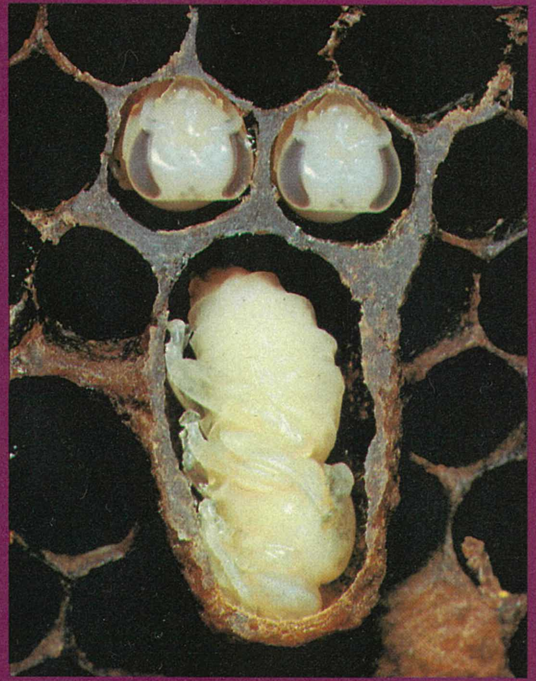
女王バチは，王台とよばれる特別の巣房で育てられる。王台形成の行動は，女王物質によって抑制されているらしい。

女王バチを育てる専用の巣房を，養蜂家たちは「王台」とよび，３種類ある。分蜂の時期に王椀としてつくられ，女王バチの産卵後，王椀の壁が増強されてできる「分蜂王台」。巣から女王バチがいなくなったとき，働きバチの若い幼虫のなかから選ばれた巣房(数個から十数個)が拡張され，下方へ壁が増張されてできる「変成王台」。そして，女王バチの産卵力の衰えたとき，やはり働きバチの若い幼虫の巣房が改造されてできる「更新王台」（１～２個）である。

王台をつくる行動は，女王バチからだされる女王物質によって抑制されているらしい。変成王台がつくられるのは，女王バチが巣からいなくなり，女王物質が働きバチのあいだに行き渡らなくなるからだ。更新王台がつくられるのは，母女王が年老いて(２～５歳)，女王物質の産出が衰えたため，と説明される。まだ少しは抑制がきいているので変成王台より数が少ない。

それでは，分蜂王台はどう説明するのだろうか。女王バチは，元気で巣内を動きまわっている。しかし，分蜂の時期には働きバチの数が最も多い。働きバチ１匹当たりに行き渡る女王物質の量は，最も少なくなるであろう。ただし，更新王台のときよりはまだ多い。この場合に変成王台や更新王台の形成行動でなく，王椀の形成行動が触発されるようだ。働きバチの数がふえてくると，巣板の下方につくられる王椀の数もふえてくる。女王バチがこの王椀に産卵するのは，巣がもはや拡張する空間をもたず，巣房がすべて幼虫，花粉，蜜でいっぱいになっているときである。産卵場所は王椀しかない。

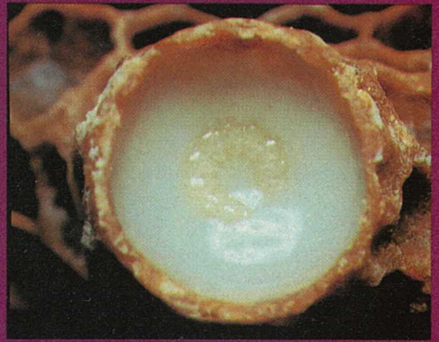
王椀に産みつけられた卵がふ化すると，多量のロイヤルゼリーが入れられ，壁が増強され，幼虫が育ちきらないうちにふたがされる。女王になることを約束された幼虫は，10日以内に出房する。



働きバチのさなぎの頭部(上部２匹)と女王バチのさなぎ。
巣房のふたと変成王台の壁を切り取ってある。



働きバチの若い幼虫(巣房の縦断面)。あたえられているロイヤルゼリーは少ない。



分蜂王台内の若い幼虫。白いのは多量のロイヤルゼリー。この幼虫は女王バチになる。

分蜂王台からの女王バチの出房。
右側に王椀がみえる。分蜂王台は
王椀の壁が増強されてできる。



分蜂したばかりのミツバチたち。巣から飛びでて，近くの木の枝にひとかたまりになろうとする。

5～7月には北半球の各地でミツバチの分蜂騒ぎがおこる。分蜂とは，ハチたちが半分に分かれ，分家していく蜂群の増殖法である。何万ものハチ，そのものすごい翅音（しおん）。両者が頭上に満ちあふれる様子にたいていの人は仰天する。分蜂時のミツバチは最もおとなしく，刺すことはほとんどない。





木の枝につくられた自然巣。ミツバチは造巣場所として樹洞のような閉鎖空間を好むが，どうしてもみつからないときがある。しかたなくハチたちは待機場所の木の枝に巣をつくりはじめる。

巣から飛びでて，近くの木の枝に一時的に集まるミツバチたち。ここから，また新しい巣となる場所を探しにいく。

分蜂がおこるメカニズムは，正確にはわかっていないが，いくつかの組み合わせでおこるようだ。一つは，前にのべた女王物質の相対的薄まり。これにより，王椀形成行動が解除され，分蜂王台がつくられる。二つめは，働きバチがふえて接触刺激および巣内の温度，湿度が高まること。三つめは，貯蔵場所の不足により，あり余った蜜が働きバチの体内にたまること。そして，もう一つは，女王の産卵場所がなくなり，それまでロイヤルゼリーを女王と幼虫にあたえていた育児バチが失業し，余ったロイヤルゼリーを働きバチ間で交換すること。これにより，働きバチの卵巣は少々発達し，行動に重大な影響をあたえる。

分蜂は，分蜂王台から新女王が出房する2，3日前，蒸し暑い午後に多くおこる。巣から一気に約半数のハチが飛びでて，近くの木の枝に一時的に集まる。中心には母女王がいて，やや細長い球状である。多くの人は中に巣があると思うらしいが，全部ハチでできている。このうち，5％ほどが「探察バチ」で，新しい巣としてふさわしい樹洞や洞くつを探しまわる。

最もよいと思われる場所をみつけたハチは，蜂球上で最も熱心にダンスをする。ほかのハチたちもその場所をみにいき，衆議一決すると，木の枝に集まっていた蜂群は，またどっと飛び立って新しい場所に移動する。

新しい場所では，ただちに巣づくりがはじめられる。女王バチは巣房が完成しなくともどんどん産卵していく。こうして，20日後には新しい働き手が誕生する。

木の枝に集合した分蜂群。母群からでた約半数の働きバチと母女王は，ひとまず近くの木の枝に集合する。この蜂球が待機しているあいだ，探察バチが新しい巣にふさわしい場所を探しまわっている。

女王物質とともに働きバチの「口移し行動」も群れとしてのまとまりを保たせている。

働きバチたちは女王バチの体をなめ，直接女王物質を受け取る。この女王物質が蜂群に１匹だけの女王バチの状況を保たせ，そのバランスのくずれが蜂群としての増殖である分蜂となり，女王バチがいなくなったときの変成王台，年老いたときの更新王台につながる。そういう話をこれまでしてきた。集団で暮らしていくとき問題となる攻撃性も，ロイヤルコートという巧妙な形でおさえられている。

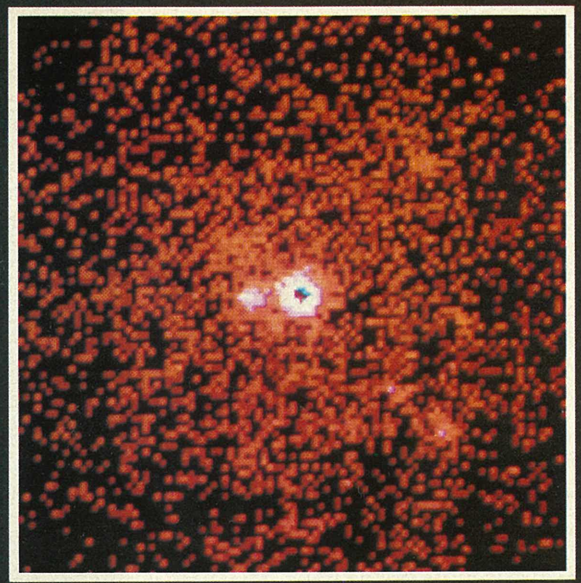
これで蜂群としてうまくやっていけるわけであるが，なにしろ，万を超す大集団である。個々のハチを結びつけるものがほしい。それが働きバチのあいだでひんぱんにみられる「口移し行動」のようだ。働きバチたちは，口吻をのばしてえさの吐きもどしを請求されると，反射的にそれに応じてしまう。この行動により，蜜の最後の１滴まで分け合うことになる。ラジオアイソトープを使った実験では，２時間後に全体の20％に行き渡るらしい。これで，同じ巣に所属するハチは同じにおいになるわけである。他巣のにおいをつけたハチは，巣の入口で追い払われる。

ハチたちは，巣の中でたがいに体を接触させて生活している。体はよろいのような外骨格である。ほんとうのスキンシップは，この口移し行動なのであろう。口移し行動は，女王物質とともに大家族集団のきずななのである。



働きバチ間の口移し行動。左側のハチが右側のハチからえさをもらっている。





クェーサー3C345のX線画像

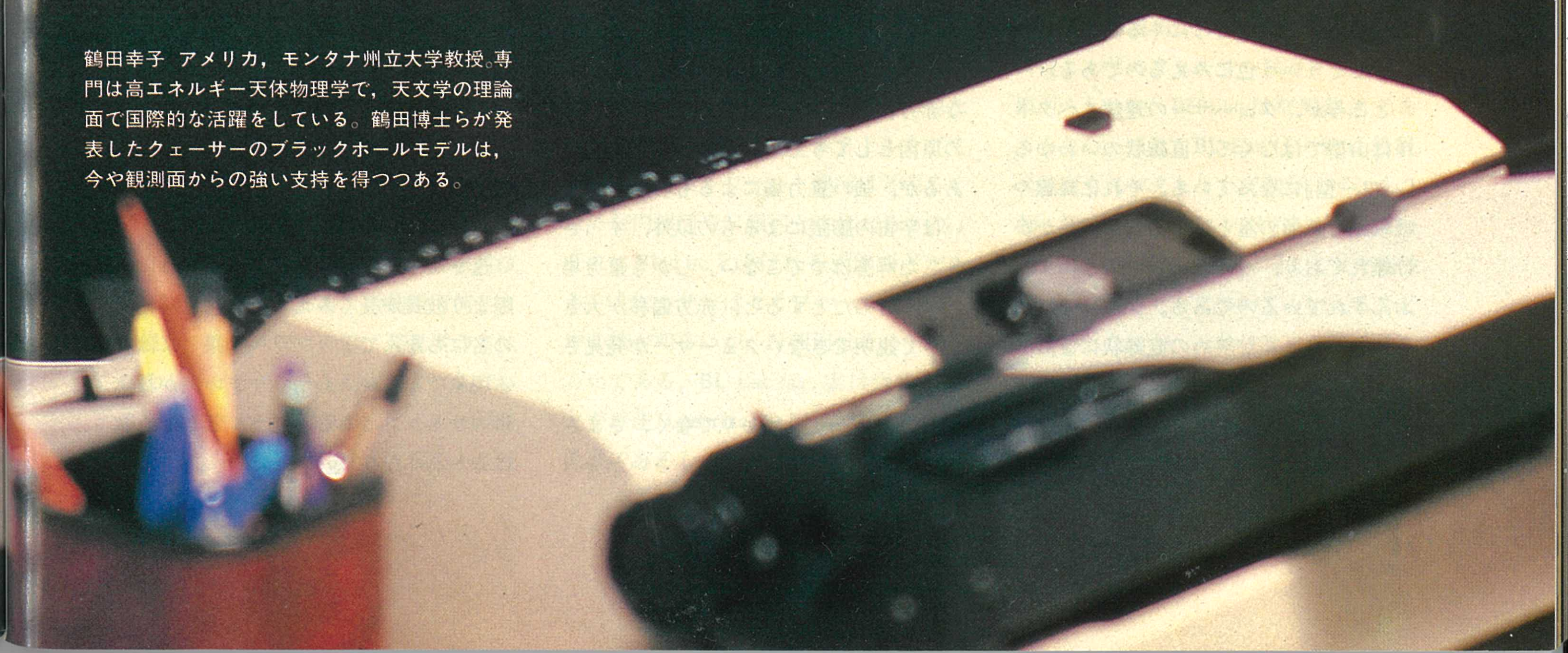
クェーサーは宇宙の果てにある天体である。
それは，ときには数十億光年のかなたで
太陽の数十兆倍ものエネルギーを放射しているが
大きさはせいぜい太陽系くらいである。
そのような小さな天体から，なぜ
こうもばくだいなエネルギーが放射されるのか。
このクェーサーのなぞに答えるため，今
“クェーサーの超大質量ブラックホールモデル”が登場した。

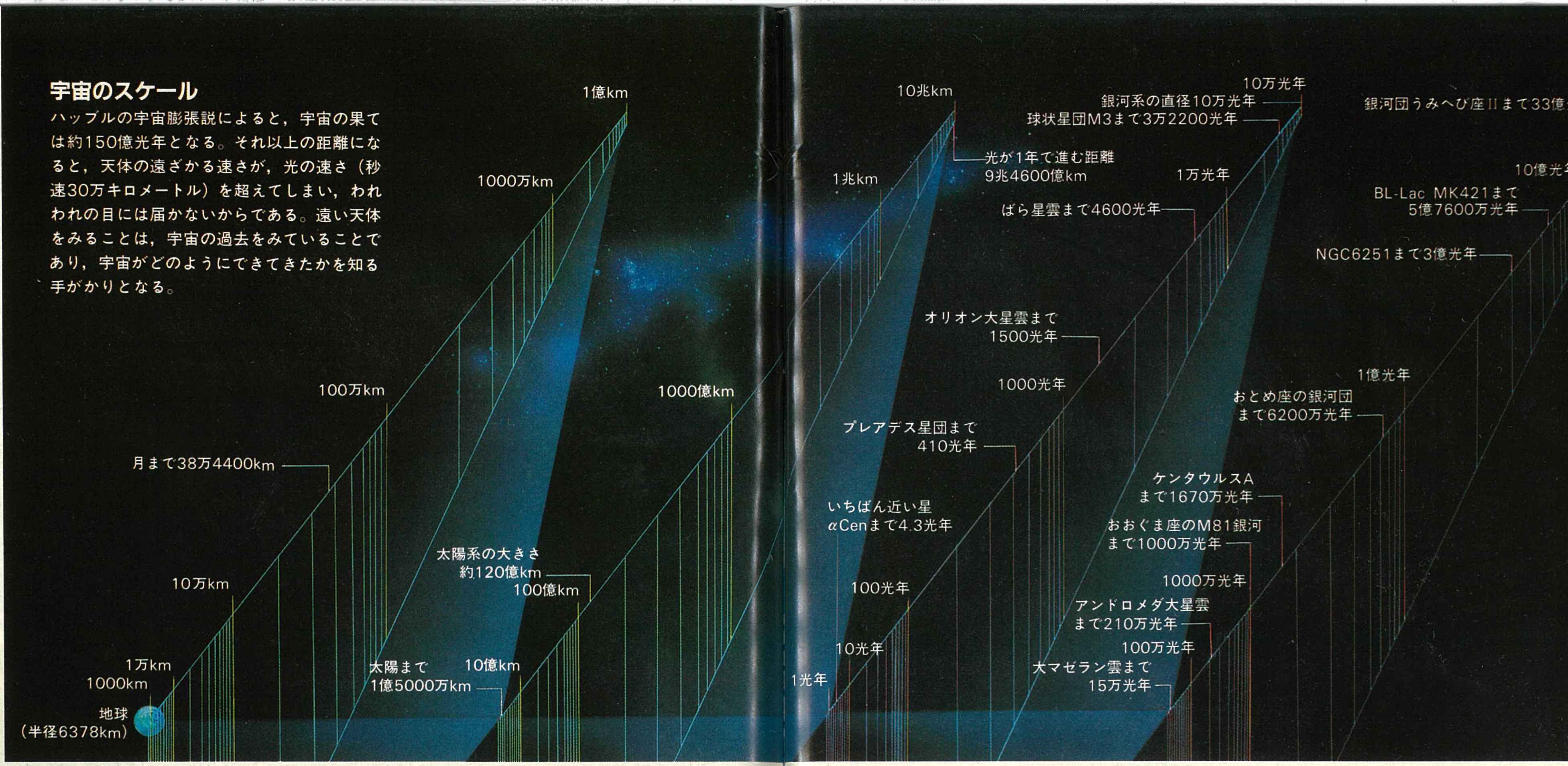
なぞの天体クェーサー

超大質量ブラックホールの饗宴?

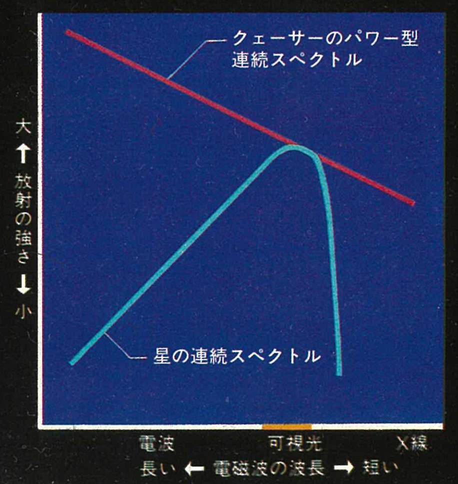
鶴田幸子

鶴田幸子　アメリカ，モンタナ州立大学教授。専門は高エネルギー天体物理学で，天文学の理論面で国際的な活躍をしている。鶴田博士らが発表したクェーサーのブラックホールモデルは，今や観測面からの強い支持を得つつある。





宇宙のスケール
ハッブルの宇宙膨張説によると，宇宙の果ては約150億光年となる。それ以上の距離になると，天体の遠ざかる速さが，光の速さ（秒速30万キロメートル）を超えてしまい，われわれの目には届かないからである。遠い天体をみることは，宇宙の過去をみていることであり，宇宙がどのようにできてきたかを知る手がかりとなる。



星とクェーサーのちがい
見かけのうえでクェーサーと一般の星を区別するのは非常にむずかしい。しかし，放射の連続スペクトルを調べると，星は山型であり，クェーサーは直線状になる。

クェーサーの出現は，天文学者を騒動の渦に巻きこんだ。

クェーサーとよばれる奇妙で不可思議な天体が発見されて20年もの年月がたった。その間，クェーサーが何者であるか，実にさまざまな憶測がなされてきたが，最近の革命的な観測技術の発展によって，ようやくその正体をあらわしつつあるようだ。

クェーサーは，つけられたあだ名が正式の名前になったもので，準恒星状天体(quasistellar object)，略して QSO というのがもともとの名前である。クェーサーは，いろいろな点で普通の星とちがっているのだが，天文学者を騒がせた最大の理由は，非常に大きな赤方偏移を示したということだった。

赤方偏移とは，星からでる光のスペクトルにあらわれる輝線や吸収線が，正常の波長よりも長いほう（すなわち赤い波長側）へずれる現象を指す。

普通の星は，高温で不透明なガスのかたまりであり，一般に黒体輻射という山型の連続スペクトルをだしており，それに輝線や吸収線が重なっている。輝線や吸収線の位置やその強さは，それをだす星の表面温度やガスの組成で決まっている。普通の星の連続スペクトルの山の頂も，その星の表面温度によって決まるために，逆に連続スペクトルから星の表面温度を知ることができる。太陽では，連続スペクトルの山の頂が，可視光のオレンジから黄色のところにくるので，目でみるとそういう色にみえるのである。

ところが，クェーサーの連続スペクトルは山型ではなくて，直線状のいわゆる「パワー型」になっている。それに輝線や吸収線も普通の星とはその幅や波長がかけ離れており，そのうえ赤いほうにずいぶんずれているのである。クェーサーの連続スペクトルが斜めの直線状になっているということは，青いほう（短波長側）も赤いほう（長波長側）も，普通の星よりもずっと強いということである。つまり，クェーサーは普通の星よりもより青く，より赤い天体ということになる。

赤いほうの光は，星間物質や地球の大気に吸収されやすいため，クェーサーはまず青い星として光学的に確認された。最初の発見は電波であったが，電波では弱すぎてみえないクェーサーが，その数のほとんどを占めていることも最近になってわかっている。

クェーサーのもつ異常なまで大きい赤方偏移の原因は何か。

クェーサーのもつ最大のなぞは，大きな赤方偏移をもつことである。赤方偏移の原因として考えられるものはいろいろあるが，強い重力場によるものか，あるいは宇宙の膨張によるもの以外，すっきりした解答はでてこない。しかも重力場によるものだとすると，赤方偏移が大きすぎて説明できないクェーサーが発見されている。

一方クェーサーばかりでなく，さまざまな銀河のスペクトルも，小さいが赤方偏移を示している。こちらはまさに宇宙の膨張によるものであることが確認されている。また，この1，2年内のことであるが，観測によってクェーサーも銀河であることが確認されたことによって，クェーサーのもつ大きな赤方偏移も宇宙の膨張によるものであると考えるのが一般的になった。

宇宙の膨張と赤方偏移がどう関係しているのか。ゴム風船の上に赤と黄の点を描きふくらましてみよう。赤い点の上に小さなアリがいたら，風船がふくらむにつれて黄色い点は遠ざかっていくと思うだろう。宇宙がこのゴム風船のように膨張していたら，その1点にいる私たちの目には，他の天体が遠ざかっているようにみえるだろう。

遠ざかっている天体からでる光は，実際より波長が長くみえる。これは発見者の名にちなんでドップラー効果とよばれる現象であるが，わかりやすい例が救急車のサイレンである。近づくときは急激に音が高くなり（短波長へずれる），遠ざかるときは急激に音が低くなっていく（長波長へずれる）。音も光も波であるため，この同じ原理があてはまる。そのため，光源が遠ざかるときは長波長へずれ，そのずれを赤方偏移というのである。また，光源が近づいてくるときは，その逆で短波長へずれ，これを青方偏移という。

クェーサーは，はげしく活動する銀河の中心核である。

銀河は，数億から数千億というばくだいな数の星の集団である。天の川とよばれているわれわれの銀河系も，その一つである。

数ある銀河のなかに，中心に星や光が密集して非常に明るく輝きさまざまな活動をしている核（または芯状のもの）をもつものが，約1％ほどある。活動銀河核とよばれるものである。活動銀河核をもつ銀河の代表的なものは，発見者の名にちなんでセイファート銀河とよばれている。セイファート銀河のほとんどは渦巻状銀河であり，異常に明るく輝く中心核の存在を除けば，われわれの銀河系のような渦巻状銀河と大きな差はない。

面白いことにセイファート銀河（とくに第Ⅰ型セイファートとよばれる種類）は，パワー型の連続スペクトルも幅の広い輝線も，クェーサーとまったく同じである。そのうえごく最近になって，クェーサーとして有名な 3C273 が渦巻状銀河であることがわかり，クェーサーと第Ⅰ型セイファートとは同じものであることが，ほぼ明らかになってきた。

セイファート銀河とクェーサー以外に，活動銀河核に属するものには，強い電波銀河の芯とか，セイファート銀河に似た輝線やパワー型の連続スペクトルをだすが中心核はセイファート銀河ほど明るくないだ円銀河やN銀河とよばれるもの，それに BL-Lac とよばれる天体などがある。クェーサーはセイファート銀河より中心核が明るいが，N銀河はその中間くらいである。BL-Lac は，実は俗称で，とかげ座（Lacertae）の BL 変光星がその代表であるためにこうよばれている。これはスペクトルに輝線がない（あっても非常に弱い）ことを除けば，クェーサーとよく似ている。そのため，BL-Lac もクェーサーの一種であろうといわれている。

強い電波銀河は，数十万から数百万光年もの広大な空間から電波をだしている銀河であるが，その多くは電波でみると二つ目玉の形をしている。そして，そのほぼ中心には光でみえる巨大なだ円銀河かクェーサーがある。

今までの観測からみると，面白いことにほとんどのクェーサーはどうも渦巻状銀河らしいが，BL-Lac はだ円銀河であるらしい。また，BL-Lac は一般に放射の強度もスペクトルも変動がはげしく，強い偏光をだし，コンパクトな（固まった）強い電波源でもある。同じことが電波の強いクェーサーについてもいえることに注目したいが，それは数にして全クェーサーの数％にすぎない。

こうみてくると，活動銀河核に属する天体には，まだ説明がつかないいろいろ

な怪物がいるらしい。しかし，そのなかで，なんといってもいちばんの花形はクェーサーである。

クェーサーは非常に遠方にある巨大なエネルギー源である。

今から50年ほど前に，ハッブルというアメリカの天文学者が面白いことを発見した。それは遠くにある銀河ほど，赤方偏移が大きいということである。銀河の赤方偏移は，宇宙の膨張によって，光源がわれわれから遠ざかっているためというのだ。いいかえれば，遠くの銀河ほど速くわれわれから遠ざかっていることである。

ハッブルは，観測データから銀河までの距離と後退速度(すなわち赤方偏移)との間に一定の簡単な関係があることを示した。ハッブルの法則とよばれるものである。この法則により，逆に赤方偏移をはかれば，その銀河までの距離がわかるようになった。

こうして赤方偏移からはかられるクェーサーは，数億光年から数十億光年という非常に遠方にあることになる。そんな遠くにあるものが明るくみえることは，とりもなおさずそれがばくだいな量のエネルギーを放射しているということである。それは太陽の数十兆倍という途方もない量である。そんなエネルギーは，いったいどこからくるのだろうか。

1割程度のよい効率で質量を放射のエネルギーに変換できたとしても，毎秒当たり太陽の数十兆倍ものエネルギーを，クェーサーの寿命である数百万年もの間放射するには，太陽の数千万倍もの質量が必要になってくる。大きな銀河の中心部には，実際に数百万から数十億の星が密集していることから考えると，これは少なくとも銀河の中心核程度の大きさの現象ということになる。

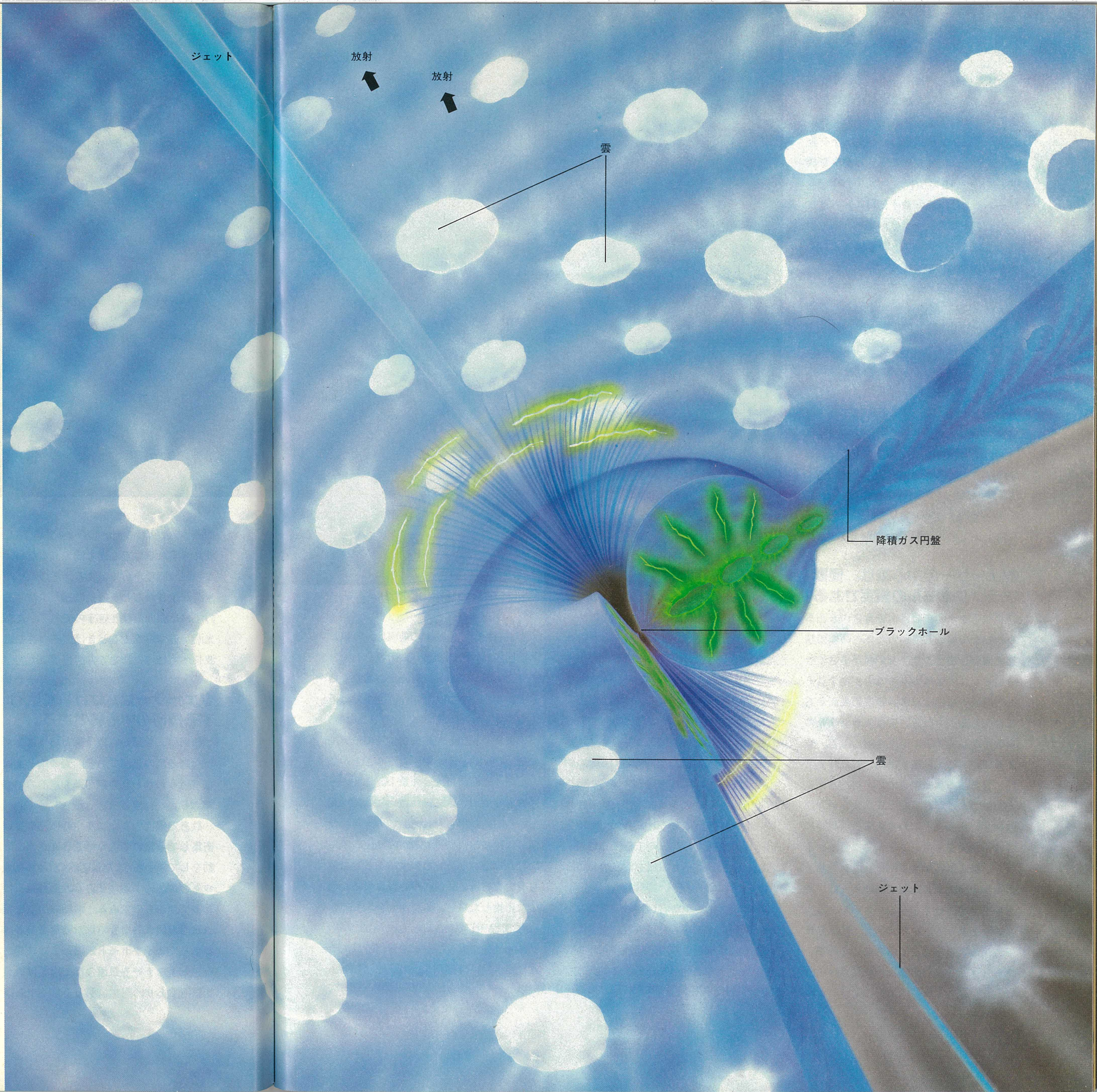
ばくだいなエネルギーをだすクェーサーの中心核は何か。

クェーサーを代表とする活動銀河核のモデルには，密集した星の集団とか超大質量星といったものがある。しかし最近になって，超大質量のブラックホールでなくてはだめだと考えさせる観測データが蓄積しつつある。

その一例は，アメリカのX線天文衛星“アインシュタイン”によって発見された活動銀河核の非常に短いX線の時間変動である。その主なものは，1〜2時間程度であり，強弱はさまざまである。こういった活動銀河核は，クェーサーだったりセイファート銀河だったり，電波銀河だったりする。

これらのX線の時間変動で最も短いものは，NGC 6814というセイファート銀河のもので，わずか1〜2分にすぎない。この銀河から放射されているエネルギーは，太陽の数十億倍程度であり，この種の仲間の間では弱いほうである。これらの短いX線の時間変動の特徴は，振幅が非常に大きいことである。その場合，光源の大きさは変動時間内に光が進む距離以下という関係があり，変動時間から発光領域の大きさの目安をつけることができる。

たとえば，1〜2分でX線が変動するNGC 6814の場合，その発光領域は数千万キロメートル以下になる。この大きさ



クェーサーの正体は，超怪獣ブラックホールの饗宴か

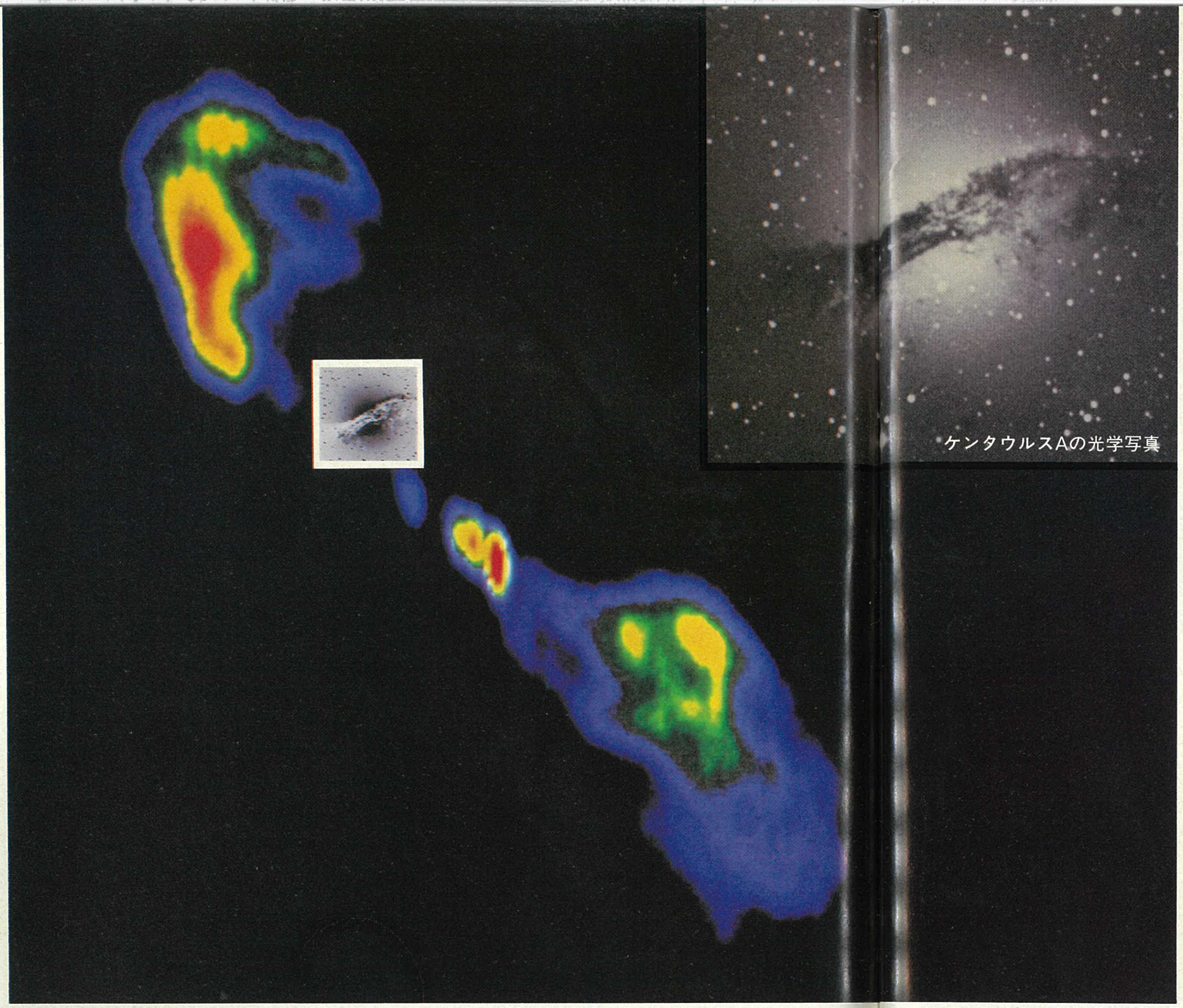
こまのように回転し，太陽の数千万倍も重いブラックホールは，降り注ぐ年間数個の太陽に相当するガスを食べている。その降積ガスは渦を巻き，穴のまわりをまわりながら穴に落ちていく。ガスは穴の遠くでは円盤状で，周囲ではドーナツ状にふくらんでいる。ブラックホールは金星の軌道内にはいるほど，またドーナツ状のガスのふくらみは太陽系ほどの大きさである。この狭い領域から毎秒太陽の数十兆倍ものエネルギーを放射している。ブラックホールの回転軸の方向にはガスのジェットが噴出しているものもあり，まわりを輝線をだすまでに熱くなったちぎれ雲がまわっている。

は，水星の軌道内におさまってしまうくらいで，そこから太陽の数十億倍ものエネルギーが毎秒放射されているのである。

クェーサー3C273は，太陽の数十兆倍にもおよぶばくだいなエネルギーを放射していて，2時間程度のX線の時間変動があることから，数十億キロメートル，すなわち太陽系よりも狭い領域から放射されていることになる。ということは，太陽の数十兆倍のエネルギーを供給するのに必要な太陽の数千万倍もの質量が，ほんの太陽系くらいか，それよりもっと狭い領域に閉じこめられていなければならないということになる。

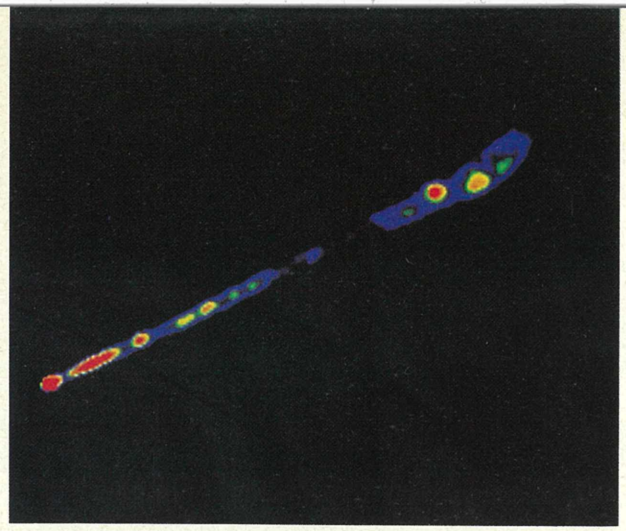
先にのべたような星の集団のモデルでは，そんなに密集する前に星はぶつかり合いつぶれてしまう。つぶれてブラックホールにまだなっていない超大質量星も，それほどの大きさな質量のものは，太陽系の数百倍という大きさになる。そのためこのモデルはとても無理である。

それでは，この程度の超大質量のブラックホールのモデルは可能だろうか。

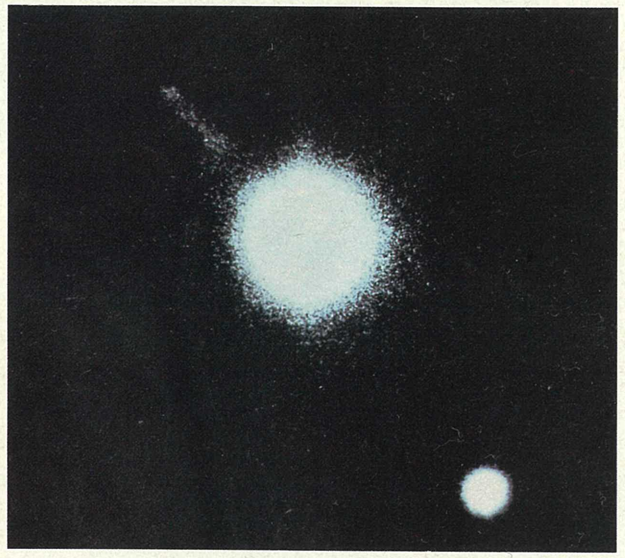


ケンタウルスAの光学写真

電波銀河ケンタウルスAの電波画像。二つ目玉の中央に巨大なだ円銀河NGC 5128がある。



銀河NGC6251の電波写真。一直線の美しいジェットをもっている。



クェーサー3C273の光学写真。左上方に巨大なジェットがみえる。

クェーサーの中心核は，怪獣ブラックホールの饗宴である。

ブラックホールは，ある質量のかたまりが無限に崩壊していったときの極限状態である。密度が上がり半径が小さくなるほど，この物質のもつ重力が増す。その強い重力場によって，物質の表面からでた光も曲げられる。質量のかたまりの崩壊が進んで，ある限度を超えると，空間のゆがみで光は完全に曲げられ，光も粒子もそこからは何もでてこれなくなる。光がでてこない真っ暗な穴，すなわちブラックホールになるのである。

質量が決まっているとき，ブラックホールになる半径が決まっている。これを重力半径とよぶ。太陽が崩壊すれば，重力半径は3キロメートルくらいである。

クェーサー3C273の場合，太陽の数千万倍の質量が必要であるが，その場合ブラックホールの半径は1億キロメートルくらいで，金星の軌道半径くらいになる。中心にブラックホールがあると，発光領域はその穴の周囲に当たるため，クェーサー3C273において，太陽系より狭い領域にエネルギー放射に必要な超大質量を閉じこめておくことは可能である。

先にでてきたNGC6814の場合，エネルギー放射に必要な質量は3C273の約1万分の1，したがってブラックホールも1万分の1の大きさになり，1万キロメートルくらいである。これは，地球をめぐる月の軌道の30分の1程度なので，水星の軌道内に発光領域をおさめることは十分可能である。

ブラックホールからは何もでてこないが，周囲にガスがあれば重力に引き寄せられて穴に落ちこみ，その前にエネルギーを放射することができる。このようなガスの降積によって解放される重力エネルギーを放射に変換する効率は，降積ガスが回転して穴のまわりに円盤をつくったり，ブラックホール自身が回転しているとかなりよくなり，10％程度まではいくと考えられている。

一方星の集団とか超大質量星のモデルでは，1％以上の効率すらだすことができない。しかし，太陽の数十兆倍という途方もない明るさを保つためには，10％という高い効率をもってしても，年に数個の太陽に相当するガスが降り注いでいなければならない。その供給源として最も有力なのは，銀河の中心核に異常なまでに密集した星が，ぶつかり合ってできたものという説である。もっとも，弱いクェーサーやセイファート銀河では，それほど多量の降積ガスを必要としない。

以上のことから，大ざっぱにいって次のようなシナリオが有力である。クェーサーは，太陽の数百万倍から数億倍も重い超怪獣ブラックホールが，降り注ぐ数個から数十個の星に相当するガスをガツガツとむさぼって，饗宴に興じている姿である，と。

宇宙ジェットと飢えた老獣ブラックホールとの関係

以上のべた超大質量ブラックホール説を，最近になってがぜん有力なものにしたのが，今では相当の数にのぼる“宇宙ジェット”の発見である。

それがくわしく調べられた例として，3億光年のかなたにあるだ円銀河NGC6251がある。この銀河の中心核からは，直線状の電波のジェットがでていて，その長さは40万光年以上にもおよぶ。ジェットの細い一端は，まさに銀河の中心に一致するが，そこに点状の電波源がある。その電波源をさらにくわしくみると，長さがわずか3光年の細いミニジェットがあらわれる。NGC6251は，ちょうど開けるごとに内側からひとまわり小さいがまったく生き写しの人形があらわれる，ロシア人形のようなのである。

そのほか特筆に値するものとして，ケンタウルス座の電波源Aがあげられる。これは何十万光年にも広がる二つ目玉の電波源であり，その目玉を結ぶ直線上に巨大なだ円銀河がある。その中心にコンパクトな電波源があり，それはX線もだしている。最近になって，この中心核から電波，光，そしてX線のジェットがでているのがみつかった。NGC6251の例のように，ここでも大規模なジェットから小規模のものまで，みんな目玉を結ぶ一直線上に並んでいるのである。

現在ケンタウルスAが毎秒放射しているエネルギーは，クェーサーにくらべてわずか数千分の1しかない。しかし，何十万光年という領域に広がった電波源に含まれる総エネルギー量は，ばくだいなものであり，質量に換算すると少なくとも太陽の100万倍となる。

イギリス，ケンブリッジ大学のリース教授はすでに10年近く前，このばくだいなエネルギーは，その生涯にわたって中心の銀河から噴出するガス（ビーム）によって供給されたと考えた。銀河の中心核から巨大な目玉に向かって一直線に並んでいるさまざまなスケールのジェットは，まさにこの仮説を裏づける美しい証拠となった。このことは，100万年から1億年という長い間，目玉の方向が記憶されていたことを意味し，強力で安定したジャイロスコープのような統一運動を必要とする。回転している超大質量ブラックホールは，その点で理想的なジャイロスコープとなるだろう。

このようなジェットは，クェーサー3C273のように明るい中心核からでているものもあるが，大部分は中心核からの放射が弱い電波銀河からでている。

一つの有力なシナリオを次に紹介しよう。ケンタウルスAで代表されるジェットをだしている巨大電波銀河は，クェーサーのなれの果てだというものである。かつては，貪欲に年間星数十個分ものガスをむさぼって生きてきたが，今は何十万光年という広大な電波源として当時の面影をとどめるにすぎない。飢えて老いさらばえたブラックホールだというのである。かつてはガスの供給で太り，回転も速かった。しかし今は，飢えており回転も遅くなるばかりである。ジェットは，失われるブラックホールの回転エネルギーで十分にまかなえるというのである。

このシナリオは，まだ仮説でしかない。細かい点では未解決の問題も多く，これからの研究の発展が期待されている。

細胞社会をつくりあげる分子

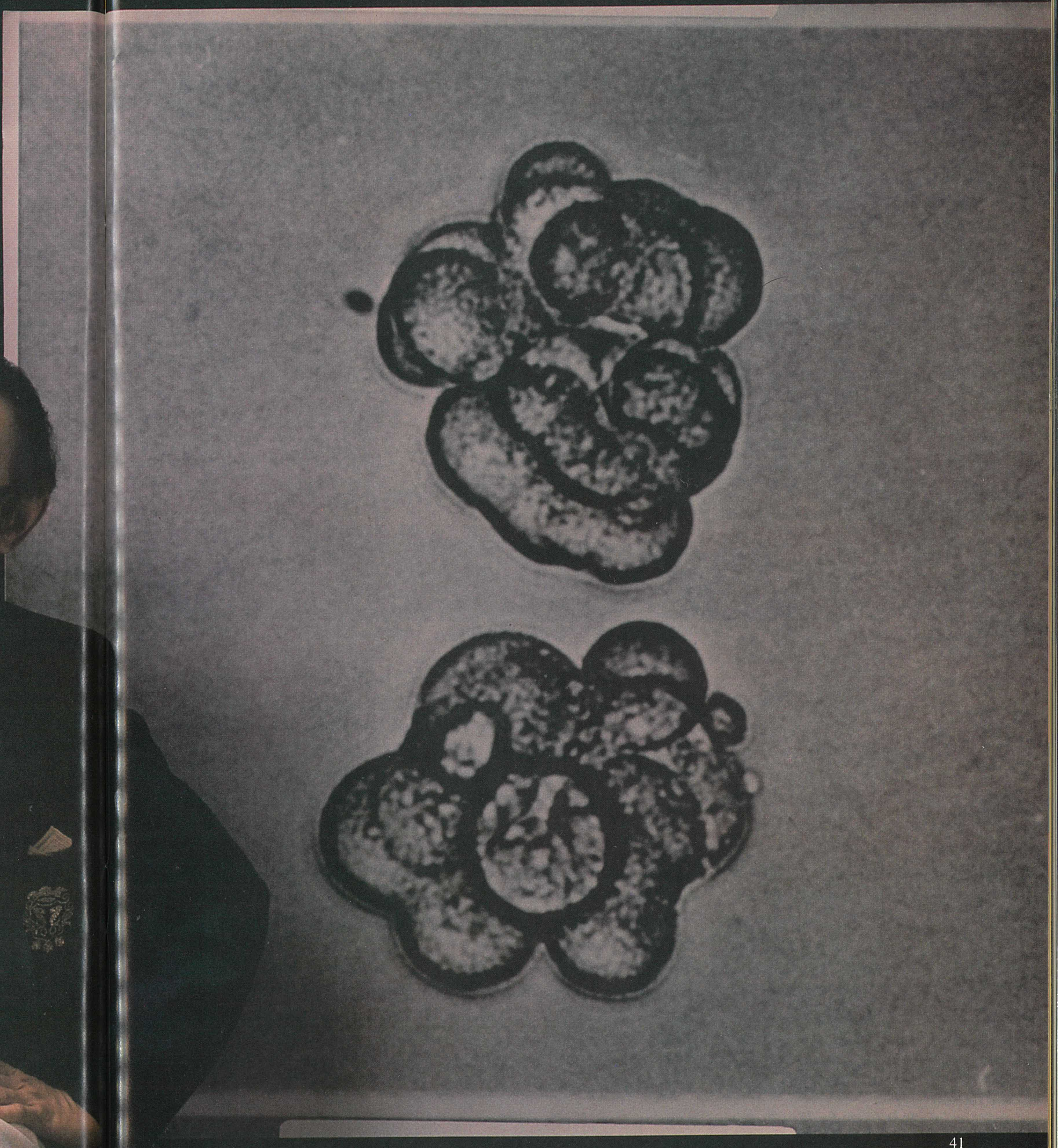
生物の形のなりたちを探る

編集部

生物は多種多様な細胞が秩序正しく集まった一つの社会である。このような細胞の社会は，いかなるメカニズムによってつくりあげられるのだろうか。また，そこにはどんな物質が関与しているのだろうか。今，その答えが少しずつ明らかになっている。京都大学岡田節人研究室で取材した，発生生物学最前線のレポート。



岡田節人　京都大学理学部教授。四半世紀にわたって，発生生物学の最前線を歩んできた。

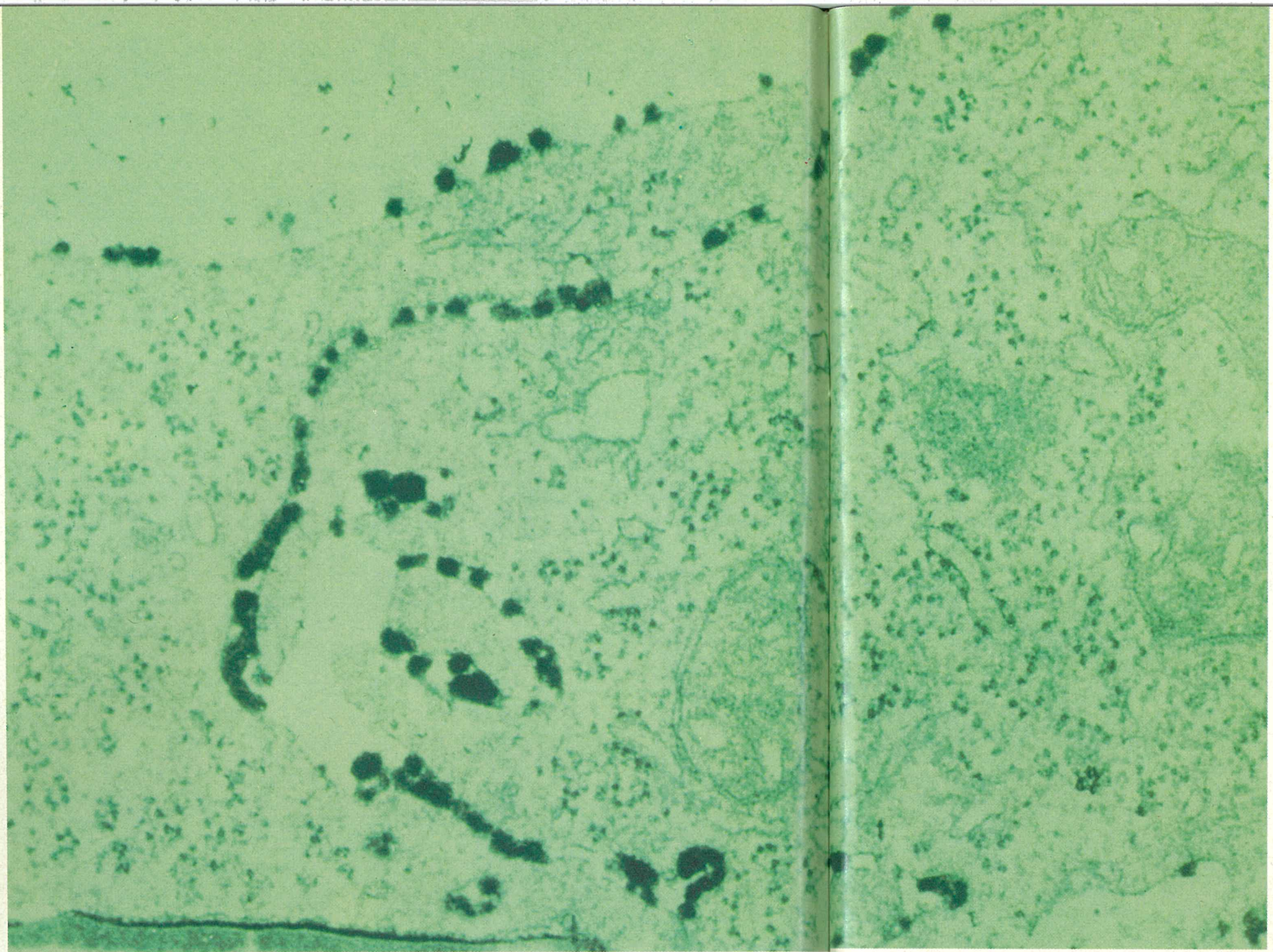


京都大学理学部岡田研究室。そこでみせられた写真は，おどろくべきものであった。テラトカルシノーマＦ９細胞とよばれるマウスのがん細胞を培養し，その断面を撮影した電子顕微鏡写真であるが，細胞と細胞が接する面にそって，黒い小さなかたまりが点々とみえる。細胞同士はこの黒いかたまりを介してつながっている。しかし，それがないところでは完全にはなれている。

岡田節人教授は，この写真の意味をこう説明する。

「細胞の集合，あるいは細胞間の認識といったものを，細胞表面にある分子間の反応としてとらえることができるようになってきたということです」

細胞表面につらなる黒い小さなかたまりは，細胞と細胞とをつなぎとめる分子の存在を示しているのである。



テラトカルシノーマF9細胞の電子顕微鏡写真。細胞の表面に小さな黒いかたまりが点々とみえるが，これは細胞を接着する分子の存在を示している。

多細胞生物は数多くの役割をもつ細胞からつくられる。

細胞は生命あるいは生物の基本的な単位である。地球上に存在する生物の多くは，この細胞がたくさん集まってできた多細胞生物である。しかし，細胞がただたくさん集まれば多細胞生物になるかというと，そうではない。多細胞生物ができあがるには，いくつかの条件が必要だ。

その一つは，それぞれことなった役割をはたす細胞がなければいけないということである。そもそもは１個の受精卵から発生したものであっても，多細胞生物の体は，ちがった形や働きをもつ細胞が集まってつくられている。このことは，「細胞の分化」とよばれる。

もう一つ，たいせつなことがある。それは，多細胞生物では細胞間の連絡システムが必要だということである。細胞の分化とは，細胞の間で役割分担が行われているということだ。しかし，それぞれの役割をはたす細胞が，勝手に働いてしまっては困る。なんらかの方法で，細胞の働きをコントロールすることが必要である。そして実際，多細胞生物にはこのようなシステムが存在している。

数多くの役割をもつ細胞が一つの秩序のもとに集まっているもの，それが多細胞生物である。この意味で多細胞生物は細胞のたんなる集合ではなく，「細胞の社会」であるといえる。

細胞は結合すべき相手をみわける能力をもっている。

ところで，この細胞の社会が成立するためには，さらに基本的な前提が必要である。細胞と細胞はくっついたらなかなかはなれないという性質がなければならない。ある組織や器官をつくっていた細胞群が急にばらばらになってしまったりしては，多細胞生物が存在しえないことは明らかであろう。

と同時に，細胞同士がくっついてしまっては困るときもある。血管の中を移動する血球細胞が血管壁に付着して，はなれなくなってしまったら，たいへんなことになる。

くっつかなければならないが，くっついて困る場合には，くっつかない。多細胞生物を構成する細胞には，このような性質が必要なのである。

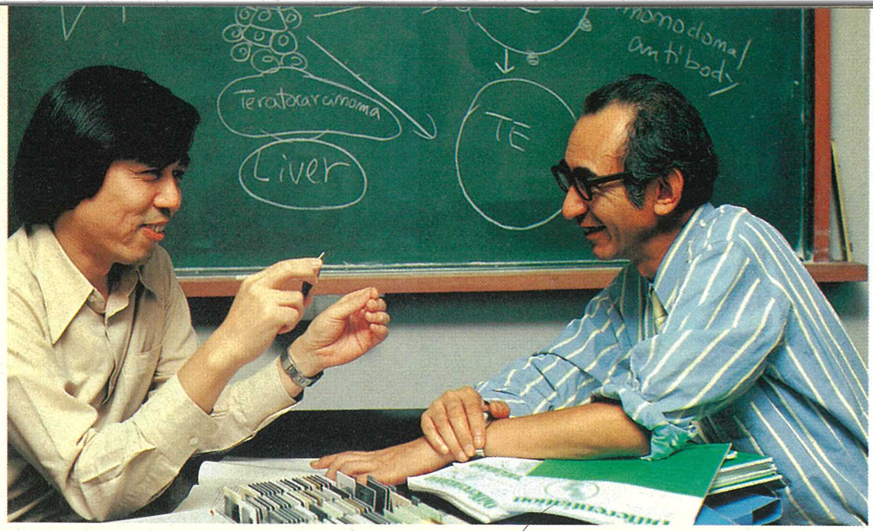
実際の生物をみてみると，たとえば筋肉細胞の集まりの中に，神経細胞が2～3個まぎれこんでいるなどといったことは，絶対におこりえない。細胞には相手をみわける能力があり，結合すべき相手をさがしだし，そして接着する性質があるようだ。

このことは簡単な実験で確かめることができる。ある組織の細胞をばらばらにし，これをガラス器の中で培養すると，やがて細胞は再集合する。そのようすをみると，最初はいろいろなタイプの細胞が無秩序にまじり合っているが，そのうち同じタイプの細胞同士が集まり，ばらばらにする前と同じ組織ができあがるのである。

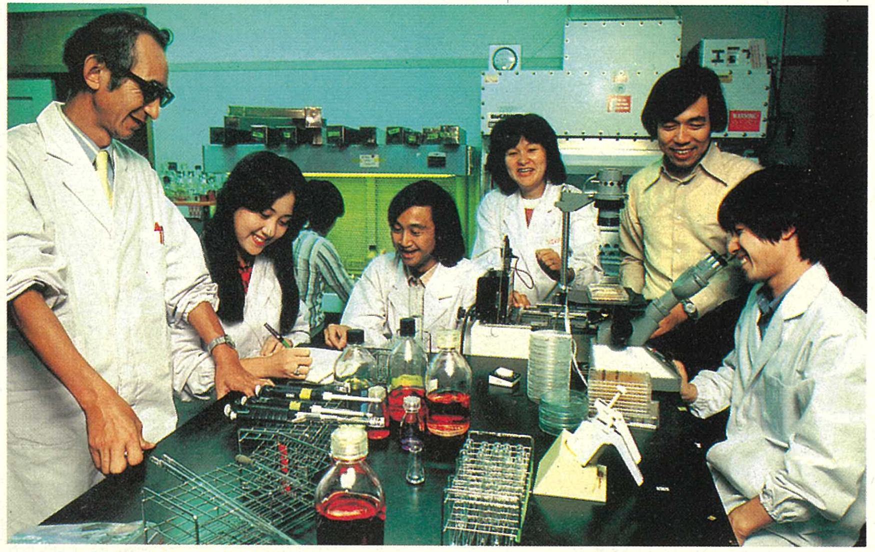
それでは，このような細胞が相手をみわけてくっつき合う現象は，細胞のどのような性質，あるいはどのような物質の働きによっておこるのか。実はその答えが，さきほどの写真に写っていた黒い小さなかたまりなのだ。

細胞をつなぎとめる分子には２種類あるらしい。

多細胞生物を生物としてなりたたせている分子，それはどうやら２種類あるらしい。



岡田教授（右）と，彼のよきパートナーである竹市助教授（左）。



生物学の最前線を歩む岡田研究室は和気あいあいとした雰囲気に包まれている。

「主として竹市雅俊助教授によるみごとな実験の結果から，われわれは『２結合基仮説』というのを発表しました。どういうことかというと，細胞の表面には手のようなものがあって，その手同士がつながると細胞がくっつく。何本手があるかはわかりませんが，少なくとも２種類の手があるわけで，この二つはちがった分子であろうと，こう仮定するわけです」

この２種類の手はCDSとCIDSとよばれている。CDSとはCa^{2+}－Dependent Siteの頭文字をとったもので，２価のカルシウム・イオンが存在しないと働かない接着分子，CIDSはCa^{2+}－Independent Siteの頭文字をとったもので，カルシウム・イオンが存在しなくても働く接着分子のことである。

CDSとCIDSという２種類の接着分子が存在することは，次のような実験によって明らかにされていった。

まず，チャイニーズハムスターの線維芽細胞であるＶ79細胞を培養する。これを，タンパク質分解酵素であるトリプシンにキレート剤を加えた液で処理すると（TE処理），細胞はばらばらになる。

また，同じＶ79細胞を，キレート剤のかわりにカルシウム・イオンをトリプシンに加えて処理すると（TC処理），細胞はばらばらにならず，うすいシート状になるが，これをカルシウム・イオンを含まない液で洗うと，細胞はばらばらになる。

こうして２通りの処理によってばらばらにした細胞を，カルシウム・イオンを含む培養液と含まない培養液で培養してみる。すると，TC処理をした細胞のう

ち，カルシウム・イオンを含む培養液の細胞だけが集合した。TE処理をした細胞は，いずれの培養液中でも集合しない。

このことから，次のような結論がでてくる。つまり，細胞にはカルシウム・イオンの存在を必要とする接着機構がある。ただし，TE 処理をすると，接着機構は破壊されてしまう。このカルシウム・イオンの存在を必要とする接着機構の実体が CDS である。

一方，CIDS の存在は次のような実験からわかった。

CDS の存在をしらべるためには，濃度の高いトリプシン液を使うが，今度はトリプシンの濃度をどんどん下げていく。すると細胞ははなれにくくなるが，ピペットで強くかきまぜれば，ばらばらになる。これらの細胞が再集合するようすを観察すると，トリプシンの濃度が下がるにつれて細胞が集まるようになる。しかも，この集合には，カルシウム・イオンは必要なかった。

こうして，カルシウム・イオンの存在を必要としない接着機構があることも明らかになったのである。

接着分子の同定は工夫をこらした実験で可能になった。

竹市助教授を実践面のリーダーとして岡田研究室がこのような細胞の接着機構の存在を世界に先がけて明らかにしたのは，1977年のことであった。その後，岡田研では，マウス，シリアンハムスター，ニワトリ，ヒトの細胞にも，同じく二つの接着機構があることを発見している。また，同じ動物のちがったタイプの細胞にも，これら二つの機構が発見された。

カルシウム・イオンを必要とする接着機構と，必要としない接着機構が，生物の細胞に共通して存在することは，どうやらまちがいない。

「ある組織とか個体とか，集まっている細胞を一度ばらばらにして，もう一度集めてやる。その間にいろいろな薬を入れて，細胞は生きているけど集まらなかったとか，集まっても筋肉の細胞と心臓の細胞のちがいをみわけられなかったとか，こういうことをくりかえして，多細胞生物が成立する基礎を追究するという実験は，1950年代の終わりころにはじまったのです」

そのころ，このような実験に手を染めた研究者は，世界でも 5 人ほどしかいなかった。そのうちの 1 人が，岡田教授である。

「以後，4 分の 1 世紀がたったわけですな。その間の進歩はというと，今いったように，細胞のくっつき合いに関係のある分子を，今やわれわれは同定し，その分子をとりだすというような道筋が，いよいよついてきたということになるかと思います」

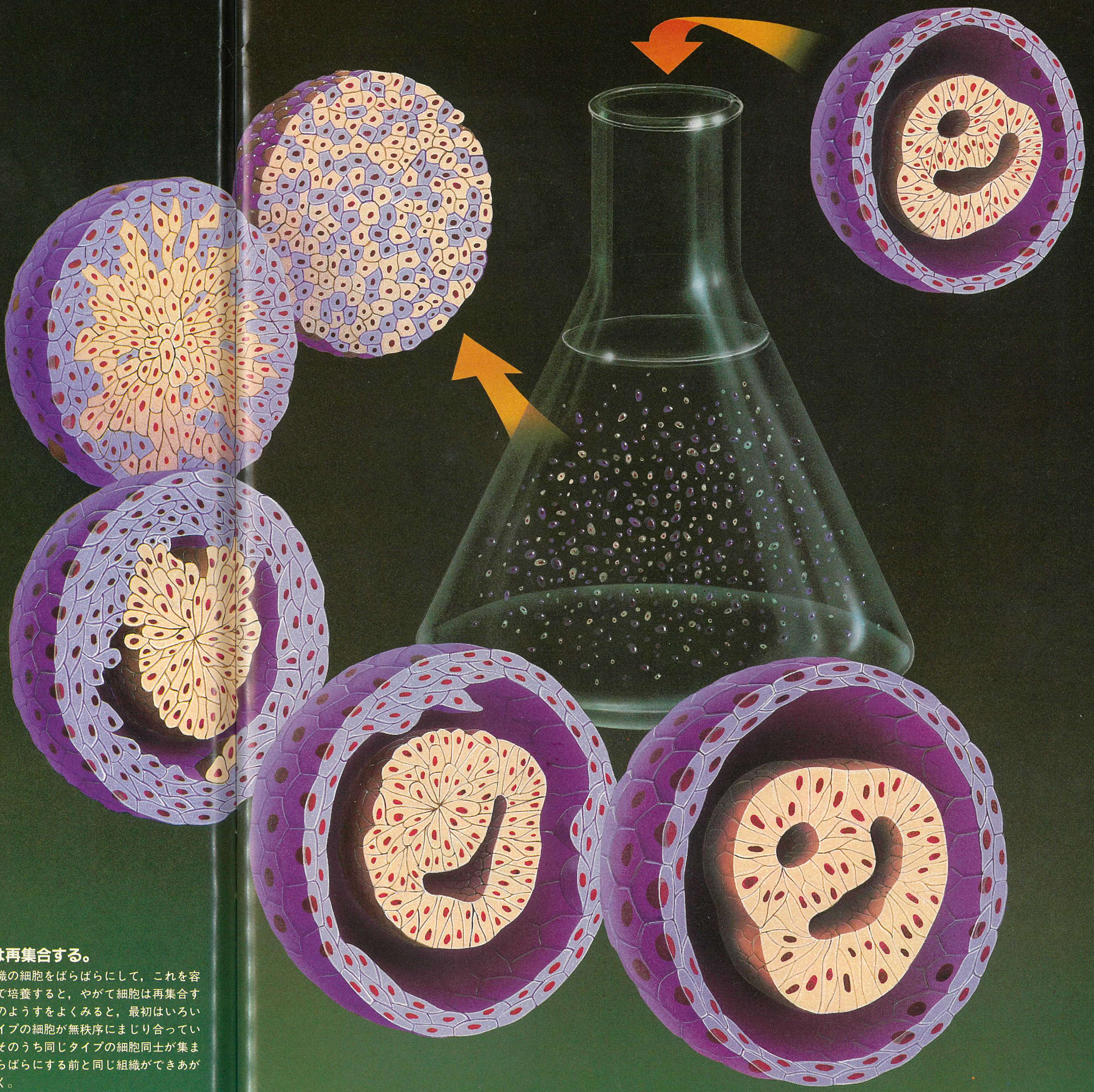
四半世紀もの間，同じような実験を世界中の研究者がくりかえしながら，これまでなぜ，この接着機構が発見されなかったのだろうか。それは，おそらく細胞をばらばらにするときに，細胞表面の接着分子そのものを破壊してしまったためと考えられる。岡田研究室で行われた実験では，この点についての十分な配慮がなされていた。

「結晶状態の純粋なトリプシンを使ったり，カルシウム・イオンをいれたり工夫をこらし，実験条件を完全にコントロールすることによって，接着分子を破壊せずに，細胞をばらばらにする方法を確立したのです」と，竹市助教授は語る。

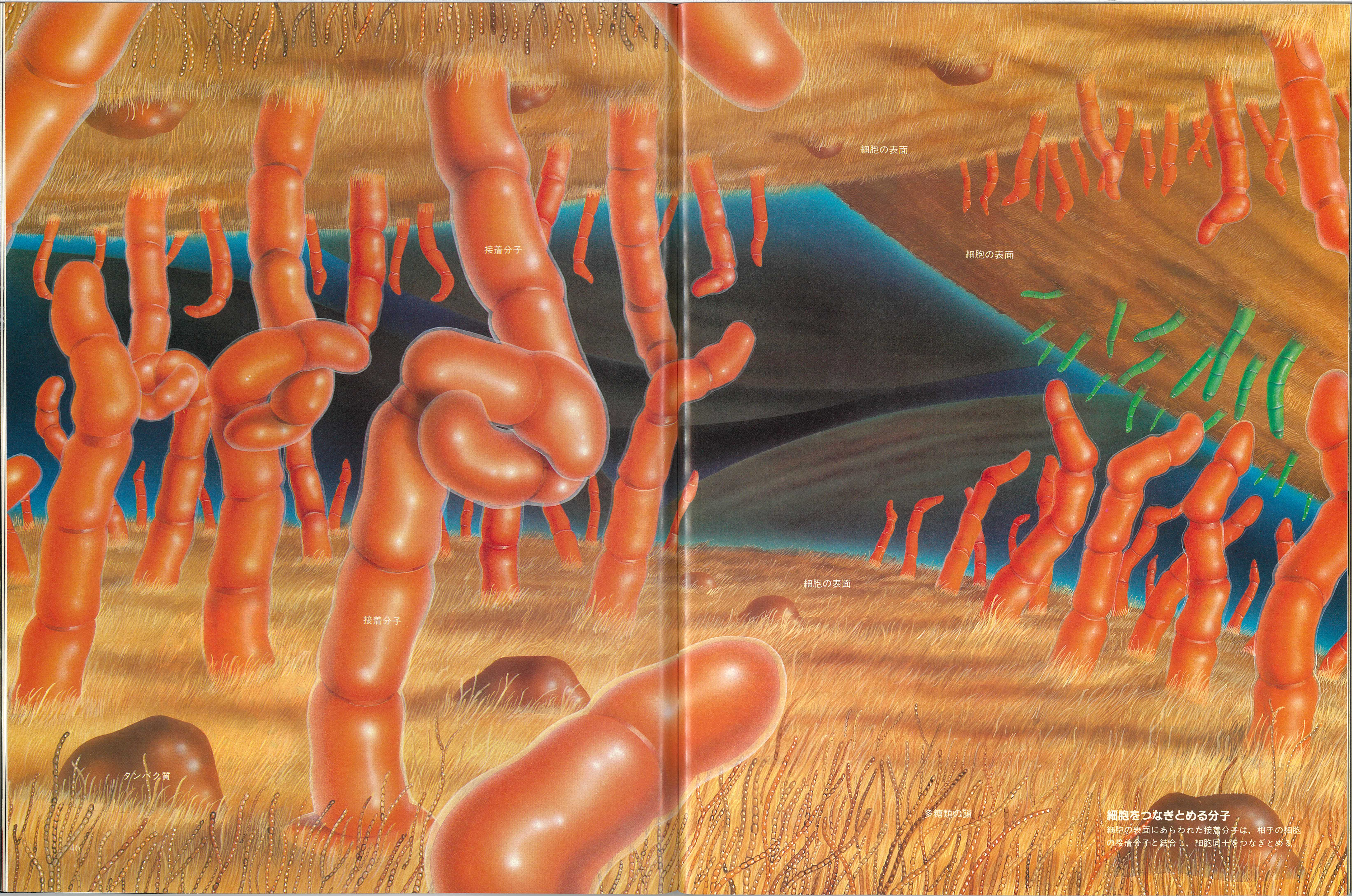
細胞の接着にはCDSが重要な役割をはたす。

CDS と CIDS はどちらも糖タンパク質で，テラトカルシノーマの CDS の分子量は14万，V79細胞の CIDS の分子量は12万5000 であることがわかっている。

もちろん，電子顕微鏡を使っても，この分子を直接みることはできない。冒頭に紹介した写真は，テラトカルシノーマ F9 細胞表面上の CDS の存在を示しているのだが，黒い小さな点は CDS そのものではない。酵素抗体法という方法に

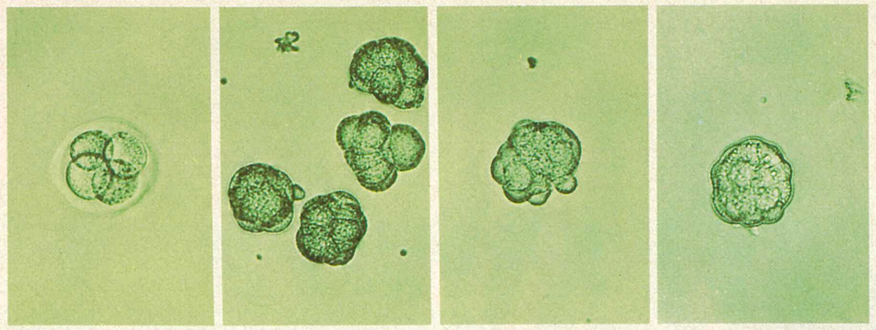


細胞は再集合する。
ある組織の細胞をばらばらにして，これを容器の中で培養すると，やがて細胞は再集合する。そのようすをよくみると，最初はいろいろなタイプの細胞が無秩序にまじり合っているが，そのうち同じタイプの細胞同士が集まり，ばらばらにする前と同じ組織ができあがっていく。

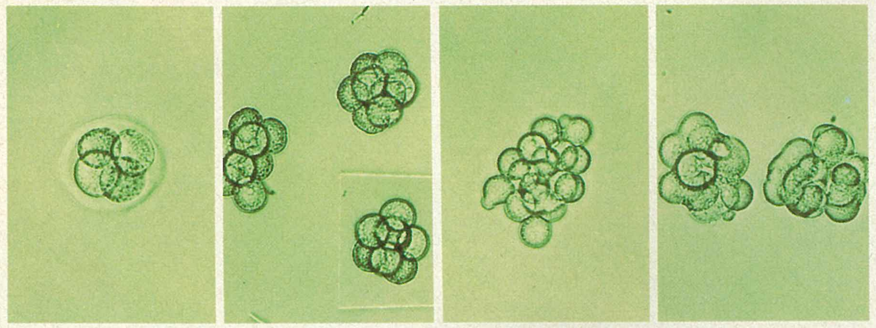


細胞をつなぎとめる分子
細胞の表面にあらわれた接着分子は，相手の細胞の接着分子と結合し，細胞同士をつなぎとめる。

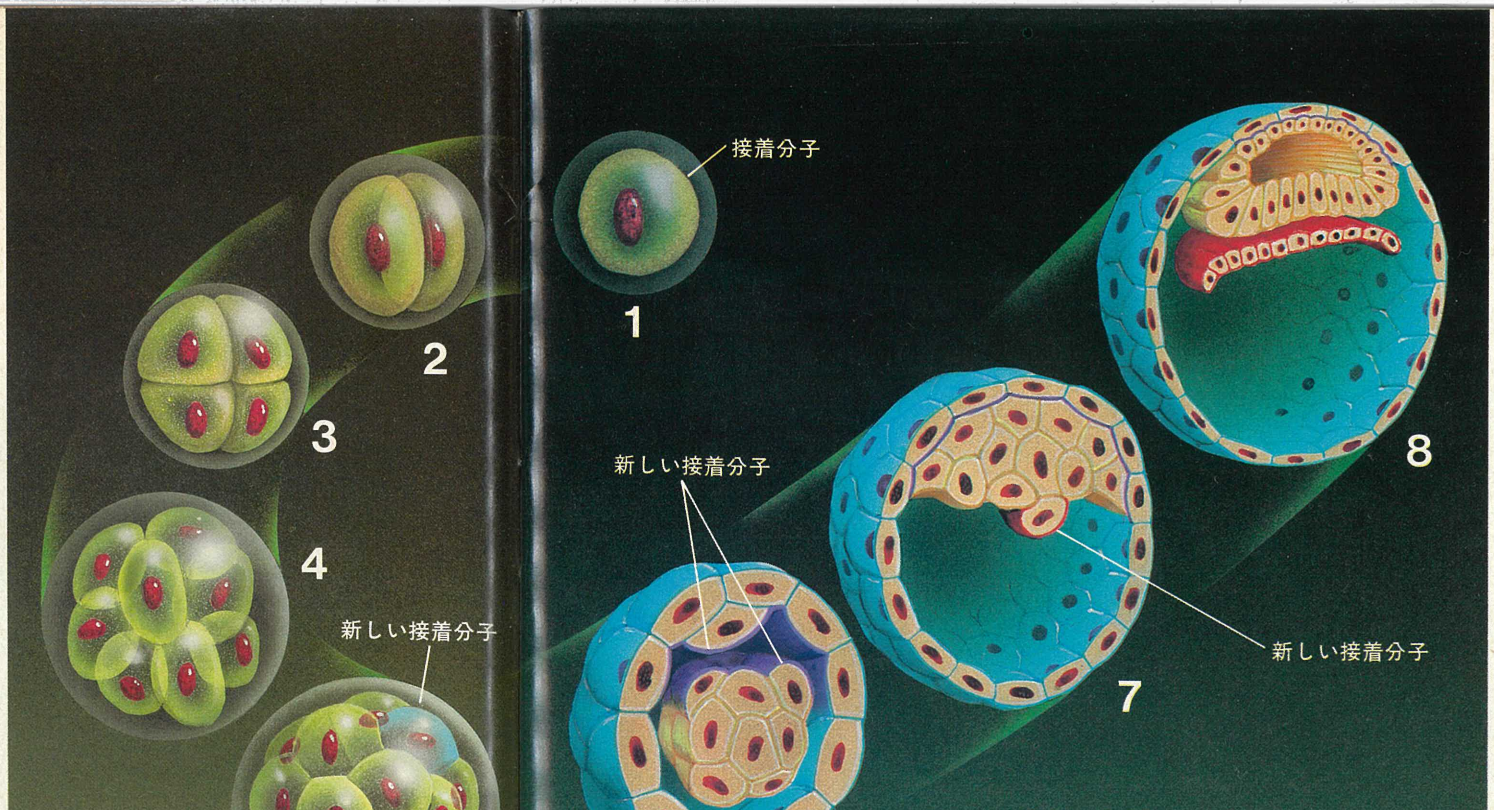
正常な細胞



CDSの働きをさまたげた細胞



８細胞期に急に全体がしまるコンパクションという現象は，CDS の働きによっておこると考えられる。正常な細胞では，上の写真のように，４細胞期からコンパクションをへて細胞分裂がくりかえされ，やがてさまざまな細胞に分化していく。一方，８細胞期に CDS の働きをさまたげてコンパクションをおこさせないと，細胞は下の写真のようにただのかたまりとなり，正常な分化はおこらない。



一つの細胞から分裂によってつくられてきた細胞の間で，いくつかのタイプの細胞が分かれていくとき，つまり細胞の分化がおこるとき，いろいろな接着分子がつくられると考えると，受精卵からさまざまな組織や器官ができるプロセスを説明できる。

よって，CDS に抗体と酵素を何段階にもわたってつけ，最後にできたジアミノベンジジンテトラハイドロクロライドという化合物をみているのである。また，黒い点一つがCDS 一つに対応しているわけではない。そこには，おそらく多数の CDS が集まっているにちがいない。

ところで，CDS と CIDS は細胞を接着させるという機能をはたす点では同じだが，その性質は少しことなっている。

「CDS だけを残して細胞をばらばらにし，集合させると，細胞はいわゆる一次元的，つまり線状にしか結びつかない。CIDS だけ残すと，それは球形になってくるわけです」と，岡田教授。

したがって，この二つは，細胞が集まるときにもことなった役割をはたしていると考えられる。CIDS による集合体は三次元的で，細胞間の接着は弱い。一方，CDS による集合は一次元的であるが，細胞はたがいに密着している。

「CDS は細胞が有機的に結びつくために必要不可欠な分子です。CIDS はより補助的で微妙な接着に関与するのではないでしょうか」と，竹市助教授は CDS と CIDS のちがいを説明する。

生物の組織や器官はいかにして形成されるのだろうか。

このような細胞の接着機構を解明していくことは，生物学にとって大きな意味をもっている。生物の体を構成しているさまざまな組織や器官がいかにして形成されるかを考える場合，細胞がたがいに相手をみわける「認識」現象が重要な役目をはたす。そして，この細胞の認識とは，細胞が接着すべき相手をいかにみわけ，いかにして選ぶかという問題であるから，CDS や CIDS の機能を追究していくことは，生物の体はいかにしてつくられるのかという問題へとつながっていくのである。

実際，受精卵が細胞分裂してふえていくとき，CDS が劇的な役割をはたすことが，マウスの細胞の実験でわかってきた。細胞が８個になるまで，すなわち８細胞期まで，分裂した細胞は丸いままゆるくかたまっている。ところがこの８細胞期に，急に全体がしまるコンパクションという現象がおこる。細胞と細胞の接着面が急に広がり，全体としてぎゅっとしまってくる。ここから，いよいよ多細胞生物としての体制がはじまるわけだ。

コンパクションは，CDS の働きによっておこると考えられる。

「CDS の機能をさまたげるような抗体をつくって，これをコンパクションした細胞にかけると，脱コンパクト，すなわちコンパクション前の状態になってしまう。そこで抗体をのぞくと，もう一度コンパクションする。自由自在に多細胞生物の体制をつくらせたり，つくらせなかったりということを，この抗体でできるわけです」

岡田教授が，コンパクションにかかわる CDS の重要性を語るかたわらで，竹市助教授は，さきほどとはまた別の写真をみせてくれた。それは，マウスの受精卵がコンパクションをへて，正常に分裂し，分化していく過程と，同じマウスの細胞を脱コンパクトさせたものが分裂してふえていく過程を比較したものである。二つの細胞をみくらべれば明らかなのだが，CDS の働きを邪魔されて脱コンパクトしてしまった細胞は，確かにふえはするが正常な分化はしない。すなわち生物にはなりえないのである。

CDSは生物の体がつくられる仕組みを解き明かす。

CDS は相手の細胞の CDS と手を結び，その結果，細胞同士が接着する。ちがった動物種の間でも，この CDS による接着はおこる。たとえば，ヒトとチャイニーズハムスター，ニワトリとチャイニーズハムスター，マウスとチャイニーズハムスターなどの間で，CDS による細胞の接着がおこることがわかっている。

一方，同じ動物の細胞同士でも，細胞の種類がちがうと接着しないこともわかっている。CDS だけを残したマウスのテラトカルシノーマ細胞と，同じマウスの線維芽細胞の表面に CDS だけを残したものとをまぜあわせると，やがてそれぞれ別の集合をつくる。2 種類の細胞が接着することはなかった。

このことも，生物の体の各器官がどのようにしてつくられていくのかをしらべる上で，きわめて大切である。というのは，受精卵が細胞分裂してある器官がつくられるとき，細胞は大別して，まず上皮組織と間充織という二つのタイプの組織に分かれる。そして，テラトカルシノーマは上皮組織の細胞に似ており，線維芽細胞は間充織の細胞に似ているのだ。一つの細胞から分裂によってつくられてきた細胞の間で，いくつかのタイプの細胞が分かれていくとき，つまり細胞が分化するとき，別の CDS がつくられると考えれば，以上のことはうまく説明できる。

「このことは，とても大事なことなんです」と，竹市助教授は強調する。組織や器官がいかにつくられるかのかぎが，そこにあるかもしれないからだ。

接着分子の発見は，生物学に新しい領域をひらくだろう。

細胞をつなぎとめる分子の話は，こうして，生物の発生のメカニズムを解明する話にまで広がっていく。

1 個の受精卵にはじまって，完全な生物の体ができあがるまでの過程は，すばらしい，しかも神秘的なドラマである。このドラマを説明するために，「場の理論」とか「位置情報」といった概念を導入しながら，生物の体がつくられていく巨視的なルールを主に追究していく方向がある。

しかし，今，岡田研究室で進んでいるのは，これとは別の立場に立った研究である。受精卵が細胞分裂をくりかえす過程で，さまざまなタイプの分子が，すなわち CDS が細胞表面にあらわれてくる。それにつれて，細胞はくっついたり，はなれたりしながら，やがて体の各器官や組織がつくられるというのであるから。

ところで，生物の体がこのようなプロセスでできていくとするなら，それをコントロールしているものは，いったい何なのだろうか。

「それは結局は遺伝子にまでさかのぼって求めるほかはないでしょうね」

岡田教授の答えは明快そのものであった。「僕らのやり方が巨視的なルールを求める方向と，どこでどう関係してくるか，今はまだ考えないことにしています」

岡田研究室では CDS をつくる遺伝子をつきとめる研究もはじまっている。

つまり，細胞表面の分子の働きから，生物の「形づくり」の分子的背景というべきものを語れるようになってきた。細胞をつなぎとめる分子の存在を示したあの写真は，生物学に新しい領域がひらけつつあることも，同時に示していたのである。

NEWTON SPECIAL

コンピュータ

文明の利器のしくみを探る

昔から，人類はつねに便利な道具を追い求め，次々と発明してきた。
コンピュータは，人類が発明した道具のなかでも，
最も応用範囲が広い高度な道具の一つである。
それは，人手によって行われてきた繁雑な計算を機械化し，
自動化しようとする試みのなかから生まれた。
そして今，電子技術の発達がコンピュータの爆発的な発展をもたらした。
しかし，「猫に小判」のことわざのように，いかに高度で便利な道具であっても，
その上手な使い方を知らないでいる限りは，それはたんなる機械でしかない。
20世紀最大の発明品である電子計算機――コンピュータ
のしくみをみてみよう。

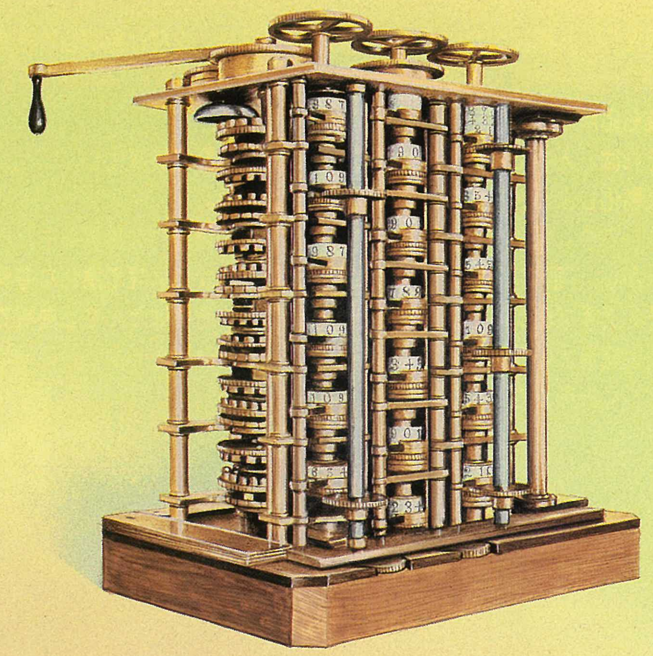


自動計算機械はつくれないか——。若き数学者バベッジのこの夢は今日のコンピュータの原型となった。

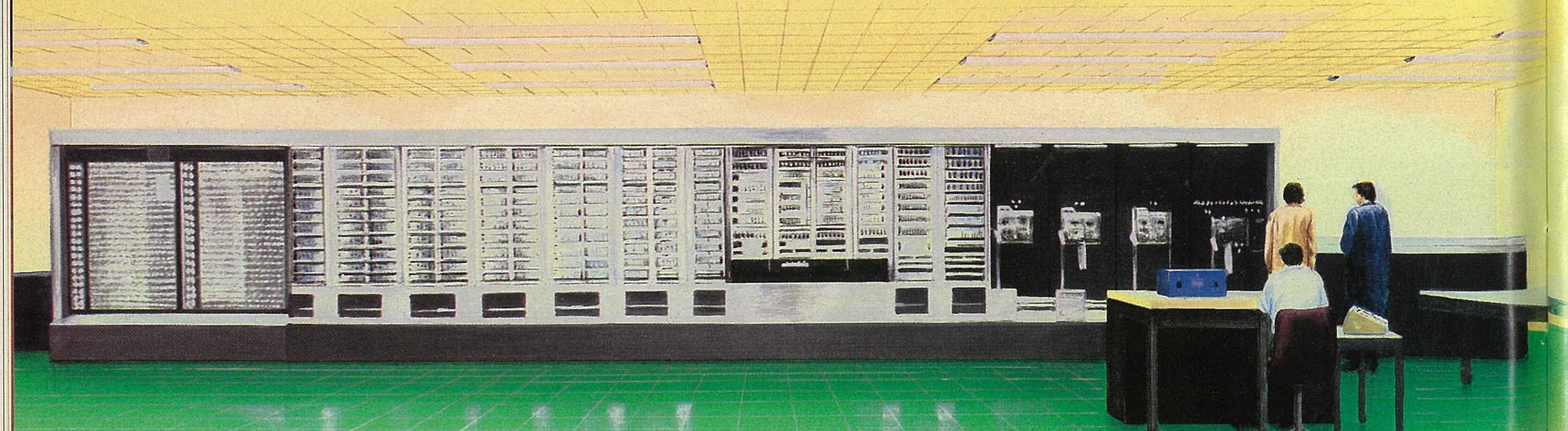
人類が数を数えはじめ，計算を行うようになって以来，その計算手順を，機械を使ってもっと簡単にしようと試みてきた。自分の指を使って数えることから，数をあらわす小石を使うようになり，さらにこれがそろばんの発明をもたらした。そして1645年，フランスのパスカルが最初の機械的な計算機を完成した。

機械化された計算機は，単純ではあるが時間のかかる作業から人間を解放した。しかしいぜんとして，人間は計算の手順を自分で覚えていなければならなかったし，機械につきっきりで，データをあたえたり，答えを取りだしたりしなければならなかった。こうした計算手順をも自動化すべきだと考えたイギリスの数学者チャールズ・バベッジは，「階差機関」そしてさらに「解析機関」という自動計算機を提唱した。とくに解析機関には，情報の記憶，演算，制御，入・出力の能力が盛りこまれており，まさに今日のコンピュータの原型ともいえるものであった。しかしこれらは，当時の機械的な技術だけでは完成には至らなかった。バベッジがこの機械で使ったパンチ・カードは，元来ジャガード織機のために開発されたものである。このパンチ・カードはその後，ホレリスらによって，統計，分類などの事務処理を機械化するのに使われた。

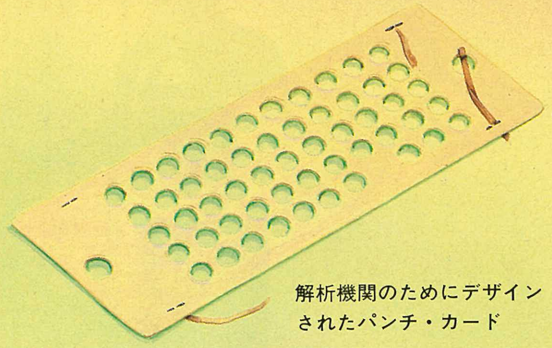
1944年，ハーバード大学のハワード・エイキンは，約3000の電磁リレーを使って，「マークI」を完成した。これは，一部に機械的な部分を残した計算機であった。



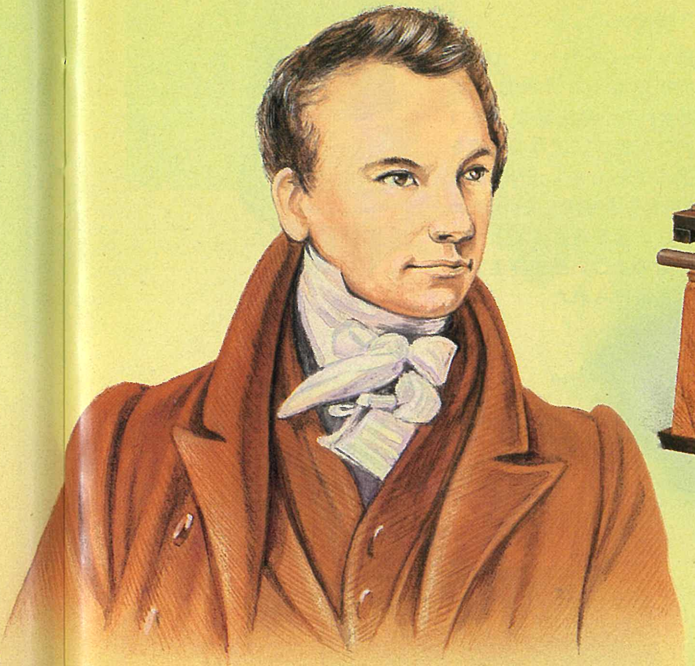
階差機関
対数表や三角関数表などを自動的に作成するためにバベッジが考案した計算機。バベッジの設計によれば，第2階差までの階差表から6けたの数表がつくれた。しかし，それがたとえ複雑なものであっても，わずか1種類の計算しかできなかった。



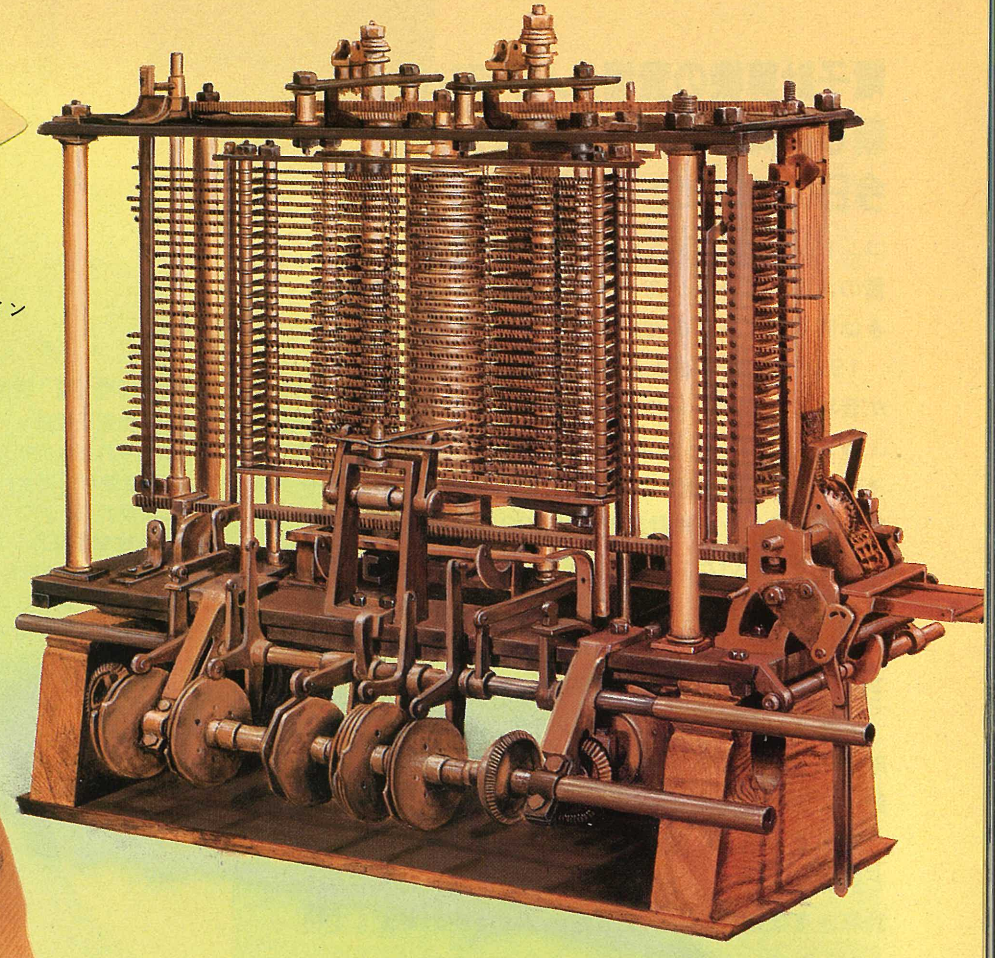
ハーバード・マークI（ASCC）
1944年，ハーバード大学のH・エイキンらの手でつくられた自動逐次制御計算機。その演算部には約3000個の電磁リレーが使われたが，記憶部はまだ機械的なものであった。プログラムによってあたえられた計算手順に従って，加減算を毎分100回，乗算を毎分約13回の速さで処理する能力をもっていた。



解析機関のためにデザインされたパンチ・カード



チャールズ・バベッジ（1791〜1871）
イギリスの数学者。若いころから，完全に自動的な計算機をつくるという夢をもっていた。彼の機械は結局完成しなかったが，その考えは，今日のコンピュータのなかに生きつづけている。



解析機関
バベッジの構想では，あらかじめパンチ・カードでつくったプログラムをあたえることにより，どのような手順の計算でも自動的に実行することができる。しかし，経済的困難などのため，ついに完成することはなかった。



ホレリスの作表機
パンチ・カードを使うことにより，統計，分類などの事務処理が機械化され，能率が向上した。とくに1890年のアメリカ国勢調査では，ホレリスの作表機によって，わずか1か月で総人口を求めることができた。

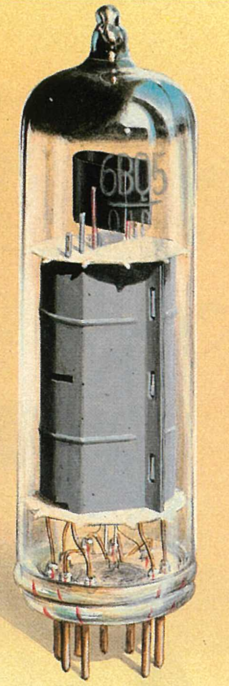
電子計算機の登場。ノイマンによる新しい概念と真空管によって，今日のコンピュータの基礎が確立した。

コンピュータに求められるのは，計算の速さ，記憶容量の大きさである。この点で電磁リレーは，やがて働きは同じだが速度の速い真空管にその場所をゆずった。

1946年，電子部品を使った文字通りの電子計算機が登場した。ペンシルバニア大学のJ.P.エッカートやJ.W.モークリーらによって建設されたENIACである。それは，1万8000本の真空管を演算部，記憶部に使い，当時のリレー式計算機の1000倍もの速さの計算速度をもっていた。しかし，ENIACでは，計算手順を直接パンチ・カードなどで制御するため，融通性を欠いていた。こうした欠点を打ち破る画期的な方式が，フォン・ノイマンによって提唱された。

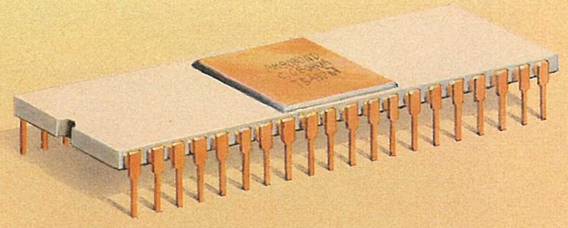
ノイマンの「プログラム内蔵方式」によれば，計算手順を示す一連の命令が，データと同様に符号化され，記憶装置に蓄えられる。コンピュータはこれらの命令やデータを順々に読みだし，その指示に基づいて次々と計算していく。この方式によって，コンピュータの計算速度は飛躍的に向上した。ノイマンの考えを実現したEDVACやEDSACは，今日のコンピュータ技術の基礎を確立するものとなった。

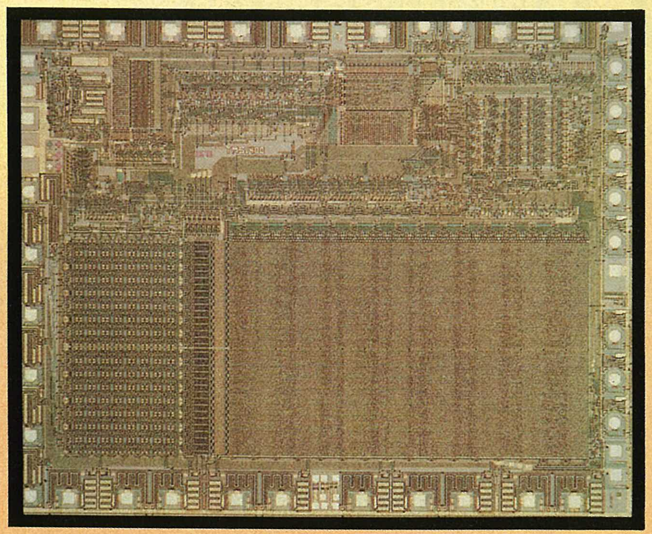
コンピュータはその後，トランジスタの発明によって，真空管による第1世代から第2世代へとはいり，ICやLSIの実用化とともに第3世代へ突入した。そして，小型化，信頼性や使用法の向上，高性能化などによって，今日の爆発的な"コンピュータ社会"の発展をもたらしていった。



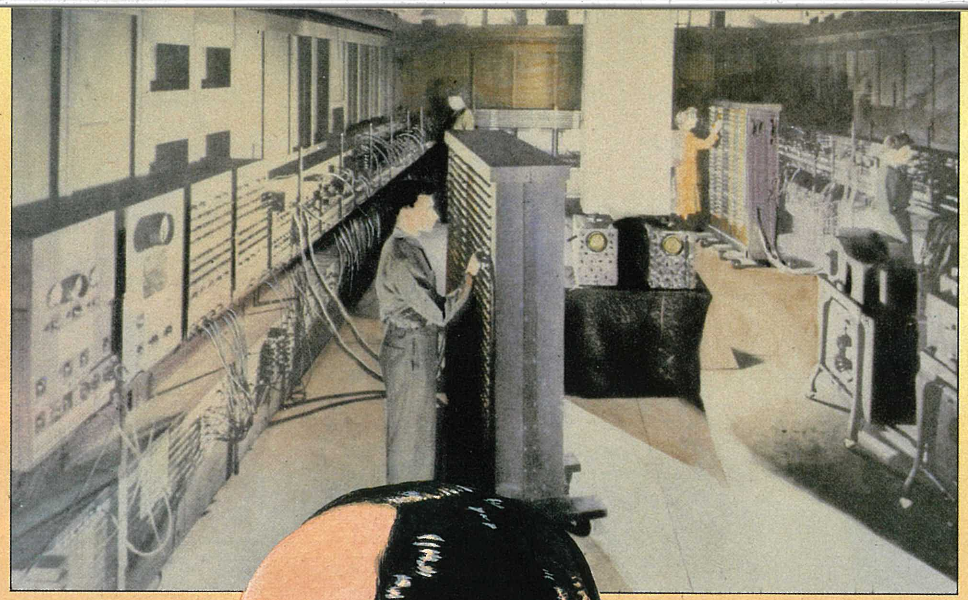
真空管の時代（第1世代）
計算速度の遅い電磁リレーにかわって，1946年につくられた世界初の電子計算機ENIACでは，真空管が採用された。真空管は2本1組として使われ，一方が他方に流れる電流を制御する役割を果たした。しかしENIACは1万8000本もの真空管を使用していたため，こわれやすく，大きな床面積をとることや，消費電力が大きく，ものすごい熱を発生することなどが欠点としてあげられた。







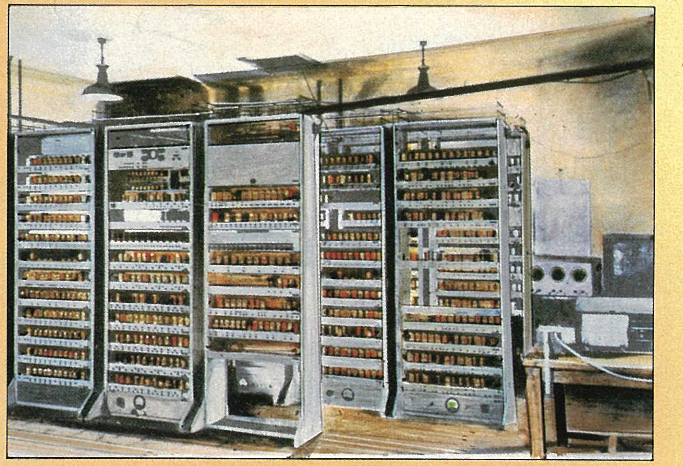
IC・LSIの時代（第3世代）
1960年代の中ごろから，トランジスタやコンデンサ，抵抗などの素子を一つのシリコン・ウェーハ上に組みこむことによって，超小型の回路であるICやLSIがつくられはじめた。そしてコンピュータはさらに小型化され，高性能化されていった。



ENIAC
Electronic Numerical Integrator and Computer　1万8000本の真空管，7万個の抵抗，1万個のコンデンサなどが使われ，長さ約30メートル，高さ約3メートル，床面積約33平方メートルもの巨大なコンピュータである。1秒間に，加減算なら5000回，乗算なら300回行うことができた。



フォン・ノイマン（1903〜1957）
ハンガリー生まれのアメリカの数学者。ENIACより高性能なコンピュータを目指して，2進法とプログラム内蔵方式の採用を提案した。そして，データ処理や演算などの各作業専用の装置システムを設定した。



EDSAC
Electronic Delay Storage Automatic Computer　フォン・ノイマンのプログラム内蔵方式で最初に稼動したコンピュータ。1949年，ケンブリッジ大学のM・V・ウィルクスらによってつくられた。



トランジスタの時代（第2世代）
1949年に発明されたトランジスタは，その後改良され，コンピュータ用の論理回路素子として真空管にとってかわっていった。トランジスタによって，高速，高信頼性，小型のコンピュータが可能になった。



パラメトロン
フェライト磁心入りコイル，コンデンサ，抵抗といった安定した部品だけでつくられた回路素子。1954年に東京大学の後藤英一が発明したわが国独自の素子である。コンピュータ用の論理回路素子および記憶回路素子として，たいへんすぐれたものだったが，速度，消費電力，大きさなどの点で，その後に登場したICにはかなわなかった。

コンピュータの基本的なしくみは，人間の思考や計算のしくみをモデルにしている。

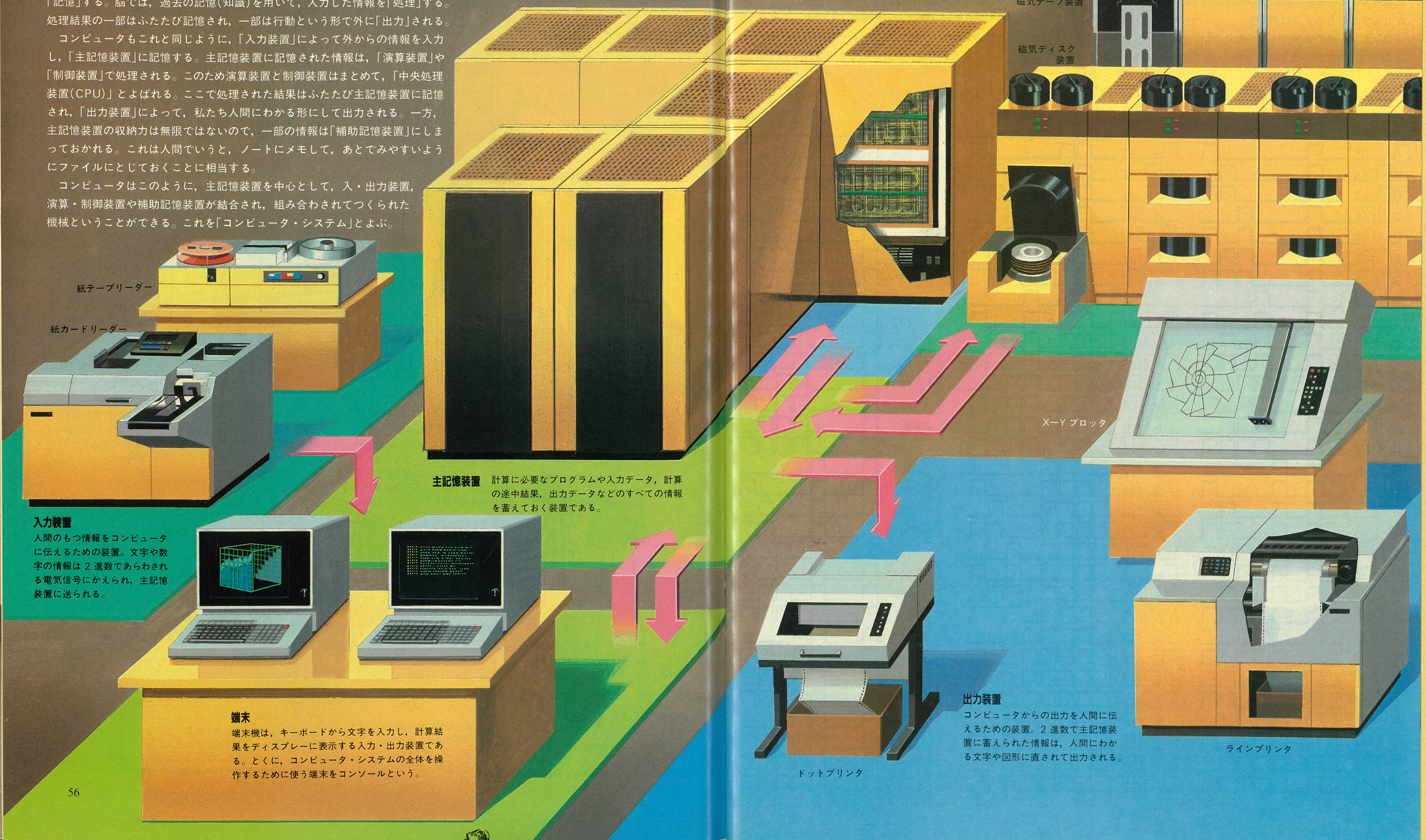
私たち人間は，目や耳などから外界の“情報”を「入力」し，神経を通して大脳に「記憶」する。脳では，過去の記憶(知識)を用いて，入力した情報を「処理」する。処理結果の一部はふたたび記憶され，一部は行動という形で外に「出力」される。

コンピュータもこれと同じように，「入力装置」によって外からの情報を入力し，「主記憶装置」に記憶する。主記憶装置に記憶された情報は，「演算装置」や「制御装置」で処理される。このため演算装置と制御装置はまとめて，「中央処理装置(CPU)」とよばれる。ここで処理された結果はふたたび主記憶装置に記憶され，「出力装置」によって，私たち人間にわかる形にして出力される。一方，主記憶装置の収納力は無限ではないので，一部の情報は「補助記憶装置」にしまっておかれる。これは人間でいうと，ノートにメモして，あとでみやすいようにファイルにとじておくことに相当する。

コンピュータはこのように，主記憶装置を中心として，入・出力装置，演算・制御装置や補助記憶装置が結合され，組み合わされてつくられた機械ということができる。これを「コンピュータ・システム」とよぶ。

中央処理装置 (CPU)
CPU は，演算装置と制御装置とからなる。演算装置では，算術演算や論理演算が高速で実行される。また制御装置は，主記憶上のプログラムのなかから命令を一つずつ取りだし，それに応じて演算や入・出力のための制御信号を各装置に送る。

補助記憶装置
計算結果やプログラムなどを長い間保存しておくために，補助記憶装置が使われる。必要なときに，その情報は主記憶装置に移される。



入力装置
人間のもつ情報をコンピュータに伝えるための装置。文字や数字の情報は 2 進数であらわされる電気信号にかえられ，主記憶装置に送られる。

主記憶装置 計算に必要なプログラムや入力データ，計算の途中結果，出力データなどのすべての情報を蓄えておく装置である。

端末
端末機は，キーボードから文字を入力し，計算結果をディスプレーに表示する入力・出力装置である。とくに，コンピュータ・システムの全体を操作するために使う端末をコンソールという。

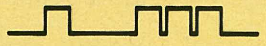
出力装置
コンピュータからの出力を人間に伝えるための装置。2 進数で主記憶装置に蓄えられた情報は，人間にわかる文字や図形に直されて出力される。

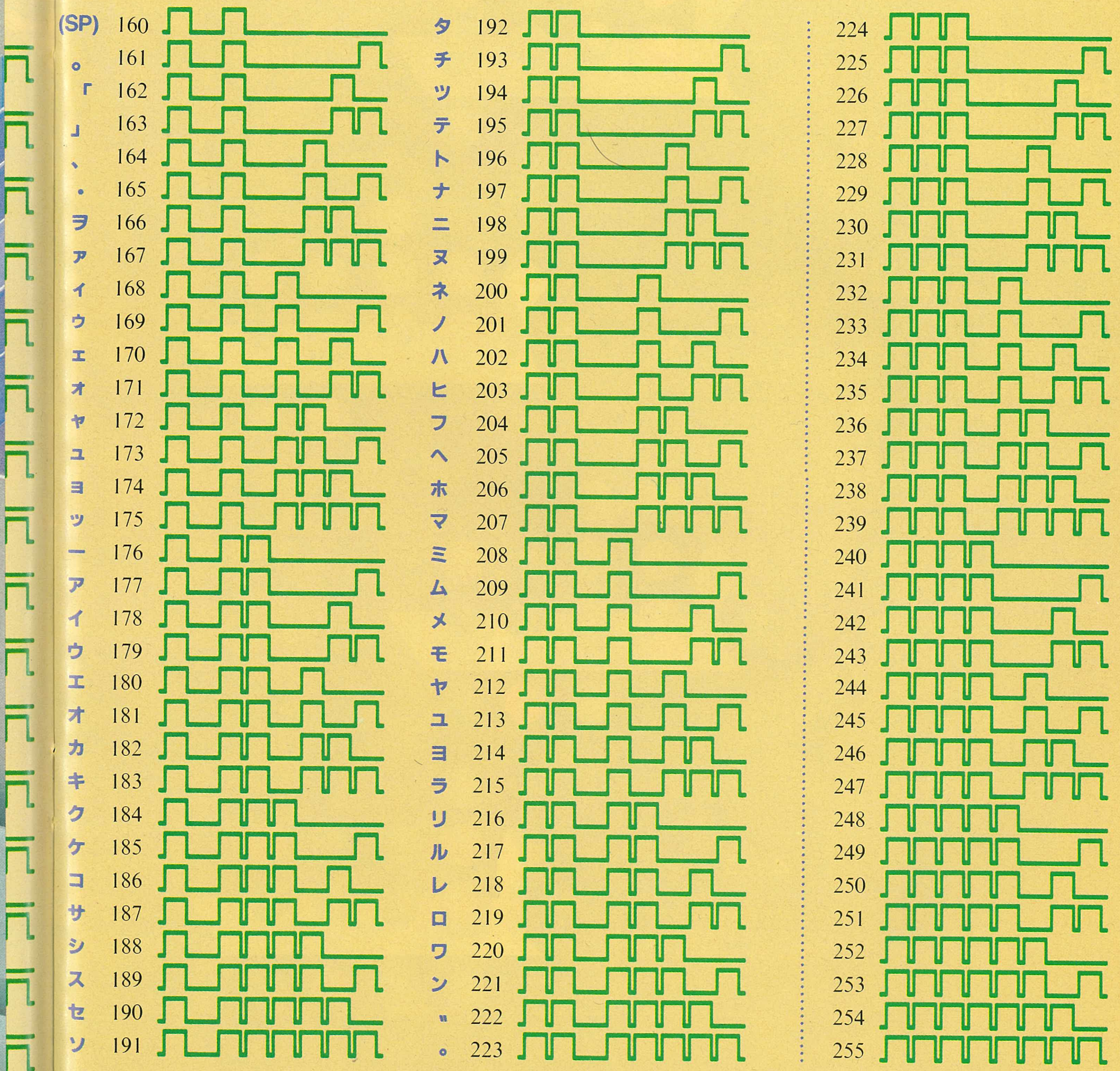
入力装置は，数字や文字などの人間がわかる言葉をデジタル電気信号にかえ，コンピュータが処理しやすいようにする役割を果たす。

コンピュータに仕事をさせるためには，人間がその仕事の手順やデータをコンピュータに入力しなければならない。しかしコンピュータの内部では，オン－オフ信号などであらわされる電気的なデジタル信号によって処理が行われる。したがって，コンピュータへの入力はすべて，最終的にはこのデジタル信号にかえられる必要がある。一方，私たち人間は“言葉”を使って相手に自分の考えを伝えており，電気的なデジタル信号を理解するのはむずかしい。このためコンピュータの入力装置では，数字や文字などの人間にわかりやすい言葉を電気的なデジタル信号にかえ，コンピュータがわかるようにする役割を果たしている。では，入力装置は人間の言葉ならどんなものでも入力できるのかというと，そうではない。私たちが日常使っている音声や手書きの文字をそのまま読み取ることは，研究は進められているがまだ困難が多い。今日最もよく使われているのは，タイプライタのように，アルファベットや数字がきざまれたキーを打つことによって入力する「キーボード入力装置」である。キーボードで NEWTON という文字を順に打つと，各文字に対応づけられた電気信号が主記憶装置へ送られる。



という単位でよぶ。普通に使われる数をあらわすのには１バイトでは足りないので，実際のコンピュータでは，２バイトとか４バイトを使って数をあらわしている。

一方，アルファベット，カタカナ，数字（０から９までの10種類の文字）や特殊文字（！や”などの記号）など，日常使われる文字なら256種類以内，すなわち１バイトですむ。そこで，一つの文字に対して１バイトの２進数の一つを対応づけることにする。この対応づけを「コード化（符号化）」とよび，各文字に対応する１バイトの２進数を「文字コード（文字符号）」とよぶ。文字コードは２進数であるから，電気的なデジタル信号であらわすことができる。このため多くの入・出力装置では，この文字コードを使って文字の入力や出力を行っている。たとえば，キーボードの“N”のキーをおすと，Nをあらわす文字コード01001110に対応するデジタル信号  が送られてくる。また，プリンタ装置にこの信号が送られてくると，文字Nが印字される。

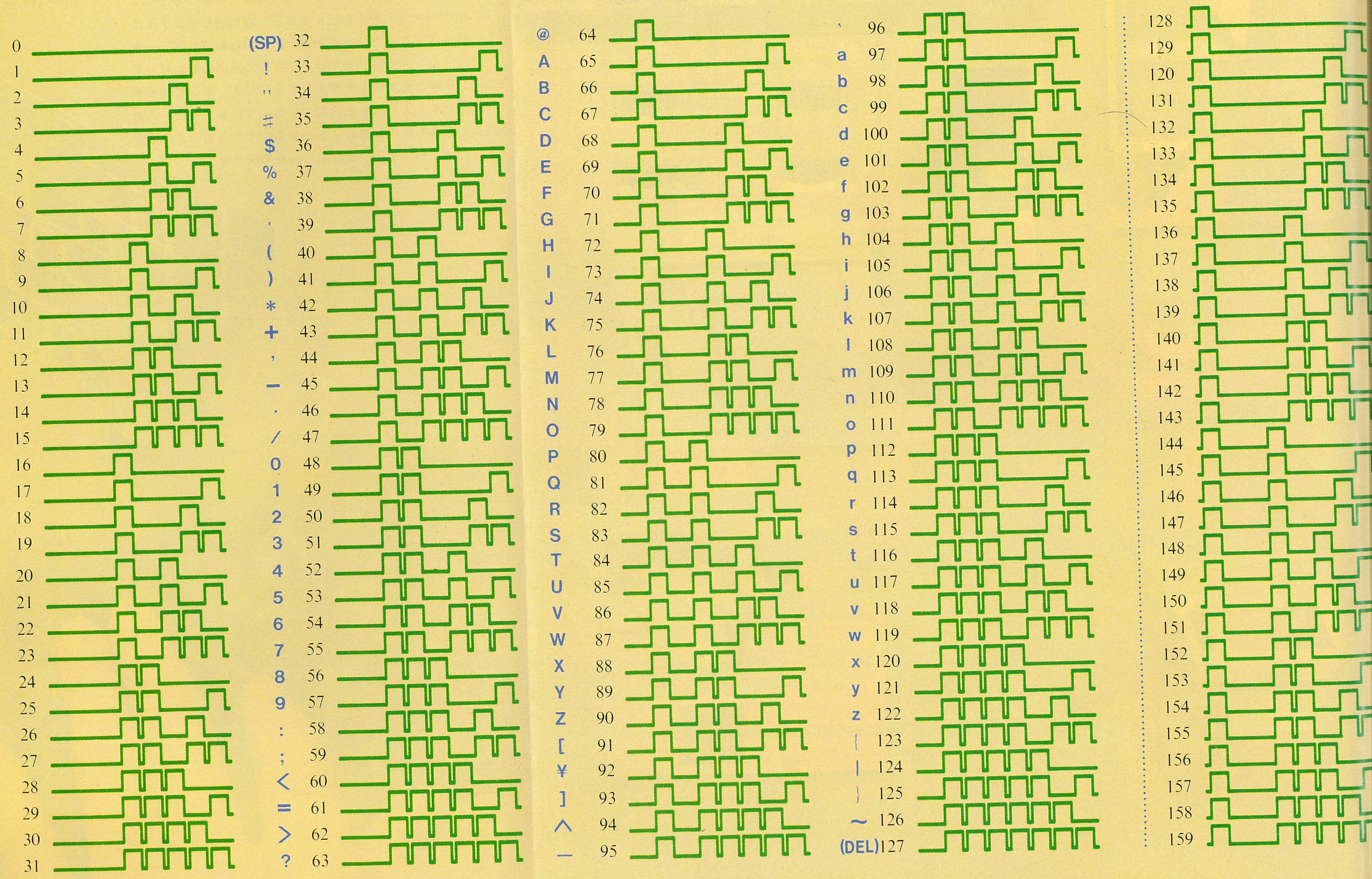


コンピュータの世界では，さまざまな数や文字などのすべてが０と１の二つのデジタル信号を組み合わせて表現される。

私たち人間は，たまたま手や足の指を使って数を数えるという習慣から，「10進法」を使うようになった。しかし，数を数えたり計算をするのには，何進法を使っても本質的にはまったく同じである。コンピュータの場合，「０をあらわす信号」と「１をあらわす信号」の二つのデジタル信号を使って，数を数えたり計算が行われる。このためコンピュータの世界では，０と１だけで数を数える「２進法」が使われるようになった。

10進法では，足して10以上になるとけた上がりが生じる。同様に２進法の場合は，足して２以上になるとけた上がりが生じる。これは，10進数の１けたが０から９まで10種類あるのに対して，２進数の１けたが０と１の２種類しかないからである。したがって２進法では，０の次は１，１の次はけた上がりして１０（イチゼロ），１０の次は１１（イチイチ），１１の次は２回けた上がりして１００（イチゼロゼロ）のように数える。

コンピュータの世界でよく使われる「ビット」という言葉は，２進数の１けた分を指す英語 binary digit からとられたものである。１ビットであらわせる２進数は０と１の２通り（2^1通り）しかない。しかしこれが２ビットになると，００，０１，１０，１１の４通り（2^2通り）の数があらわせるようになる。さらにけた数をふやして８ビットとすると，00000000，00000001，00000010，…，11111111と数えていって，256通り（2^8通り）の数があらわせる。つまり，８ビットでは，10進数の０から255までの数をあらわすことができる。コンピュータの世界では，この８ビット分を「１バイト」



2進法では，足し算やかけ算などの計算の組み合わせパターンが少なくてすむ。

どんな複雑な計算をするときでも，コンピュータは，それを足し算やかけ算という単純な計算に分解して行う。こうした計算で私たち人間とことなるのは，コンピュータは基本的には「2進法」を使うという点である。人間は0から9までの10種類の数字を使う「10進法」になれているので，0と1の二つの数字しか使わない2進法は理解しにくい。しかし，計算の原理は何進法であってもまったくかわらない。

2進法では0と1の二つの数字しか使わないから，たとえば"6"は"0110"とあらわされる。これは

$$\underline{0}\times 2^3+\underline{1}\times 2^2+\underline{1}\times 2^1+\underline{0}\times 2^0$$

の意味である。このように2進法では，一つの数をあらわすのに多くのけた数を必要とする。しかしそのかわりに，使う数字が0と1の二つしかないから，かけ算の九九も4通りになり，計算はとても単純である。

このように，2進法の有利さは計算の組み合わせのパターンが少なくてすむことにある。このことは，機械であるコンピュータにとっても有利なことでもある。

6+7 足し算

2進法では0と1の2種類の数字しか使わないから，2進数の1けたの足し算の組み合わせパターンは

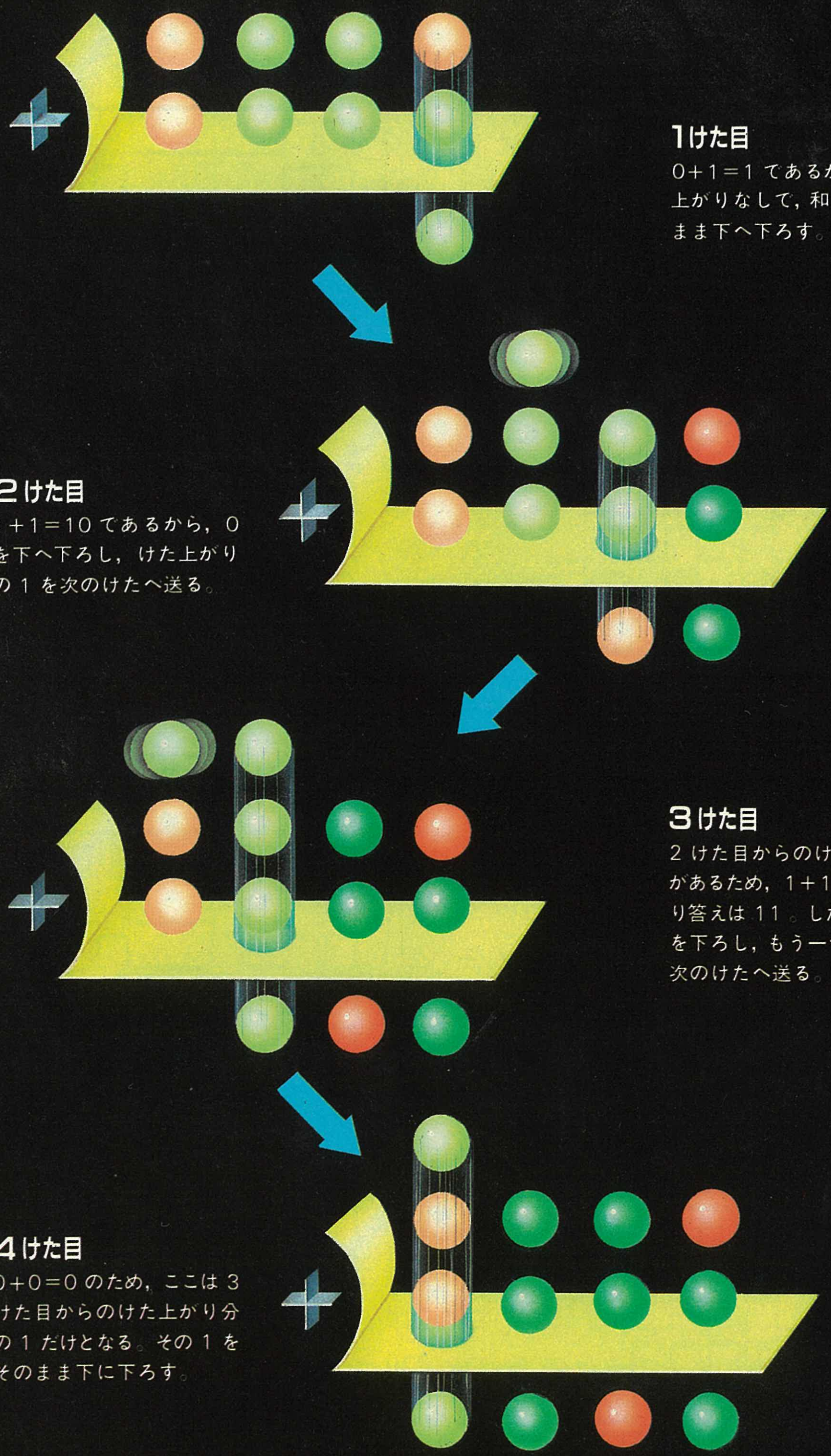
0	0	1	1
+0	+1	+0	+1
0	1	1	10

の4通りしかない。ところが10進数では1けたの足し算の組み合わせは

0	0	0	…	9	9	9
+0	+1	+2	…	+7	+8	+9
0	1	2		16	17	18

の100通りもある。

2進法の足し算では，1+1の場合だけにけた上がりがおこることがポイントである。

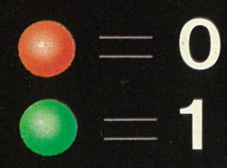


1けた目
0+1=1であるから，けた上がりなして，和1をそのまま下へ下ろす。

2けた目
1+1=10であるから，0を下へ下ろし，けた上がりの1を次のけたへ送る。

3けた目
2けた目からのけた上がりがあるため，1+1+1となり答えは11。したがって1を下ろし，もう一つの1を次のけたへ送る。

4けた目
0+0=0のため，ここは3けた目からのけた上がり分の1だけとなる。その1をそのまま下に下ろす。



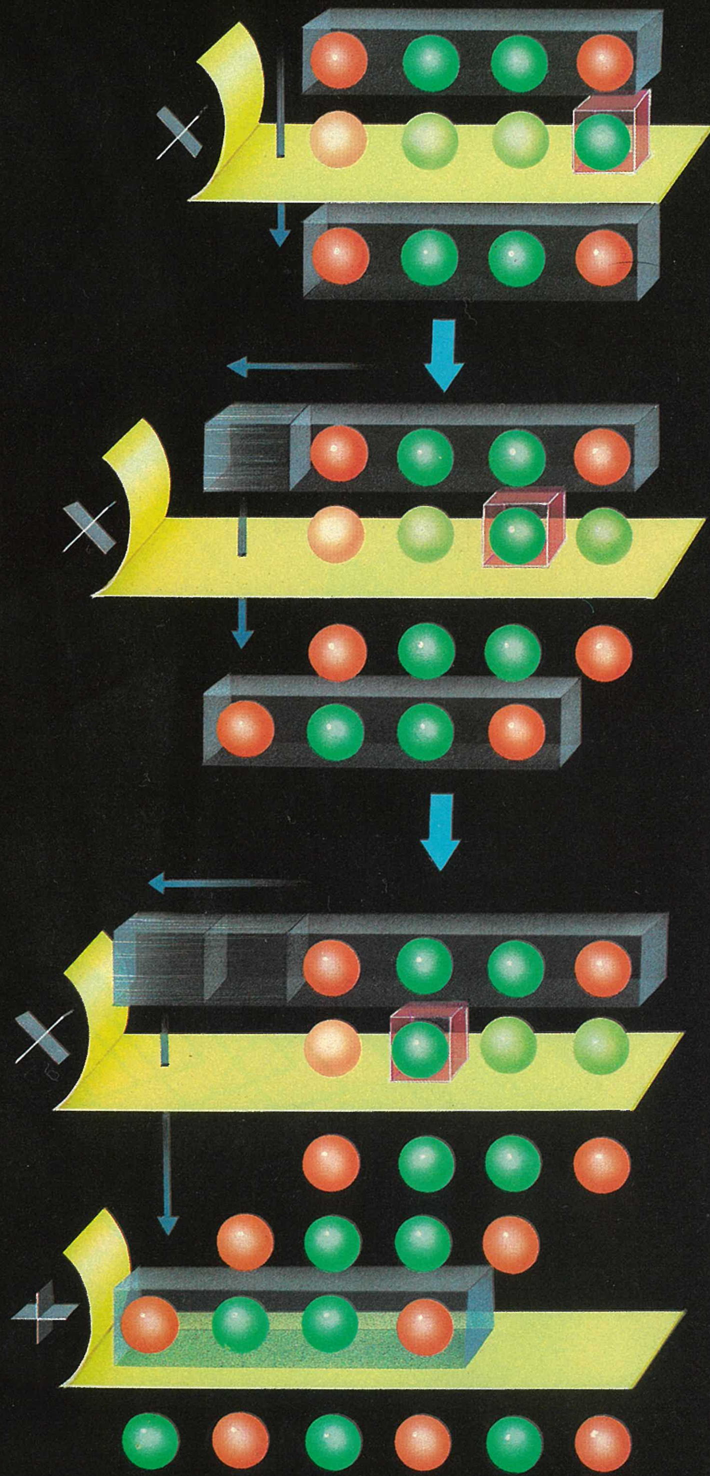
6×7 かけ算

2進数のかけ算は，足し算よりさらに単純である。2進数は0と1の組み合わせでつくられるから，そのかけ算は，0をかける場合，1をかける場合の二つだけを考えればよい。

ある数に0をかければ，その答えはすべてのけたが0の数となるから，この場合は考える必要がない。また1をかける場合，どんな数に1をかけても答えは元の数と同じである。したがって，かけられる数がどんなものであっても，かける数1がどのけたのものかによって，その分だけ左へずらせて，そのまま置けばよい。たとえば，ある数□に10をかけるとき

```
      □
×)   10
    □0
```

のように，かけられる数□を1と同じ2けた目に置いて，末尾に0をつければよいことになる。



1けた目
1けた目のかける数は1であるから，かけられる数の0110をそのまま下ろす。

2けた目
2けた目のかける数も1であるから，0110を左へ1けただけずらせて下ろす。

3けた目
3けた目のかける数も1であるから，0110を左へ2けただけずらせて下ろす。

4けた目
ここは0だから何もしなくてよい。最後に，これまでの結果を足すと答えになる。

コンピュータの演算装置にある電子回路は，2進法の計算をどのように行うか。

コンピュータの中央処理装置(CPU)の中には，「論理演算回路」とよばれる電子回路があり，ここで足し算などの計算を行う。この回路は，LSI などでつくられている。コンピュータの計算に2進法が使われる最大の理由は，実は2進法が電子回路にとって最もつごうがよいからである。たとえば，5ボルトの電圧が信号線にでているときを“1”，0ボルトのときを“0”とする。少し電圧が下がって4.5ボルトになっても，“1”と考える。こうすると，雑音などに影響されずに安定した形でさまざまな文字や数があらわせる。

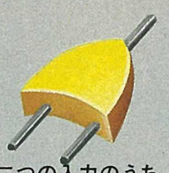
　こうした電子回路は，2進法の計算をもっと細かい単位に分解して行う。つまり，1けただけの足し算をする回路，けた上がりだけを求める回路などに分けられている。たとえば，0+0, 0+1, 1+0, 1+1の4通りの足し算のうち，けた上がりが生じるのは1+1の場合だけである。したがって，けた上がりを行う回路は両方の入力がともに1のときだけ1を出力する回路をつくればよい。このような回路をAND回路という。このほかにOR回路，NOT回路という基本的な回路があり，これらを組み合わせて足し算などを行う回路がつくられる。



AND回路

0∧0→0
0∧1→0
1∧0→0
1∧1→1

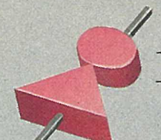
二つの入力が両方とも1であるときだけ1が出力され，どちらか一方でも0であるときは0が出力される回路である。



OR回路

0∨0→0
0∨1→1
1∨0→1
1∨1→1

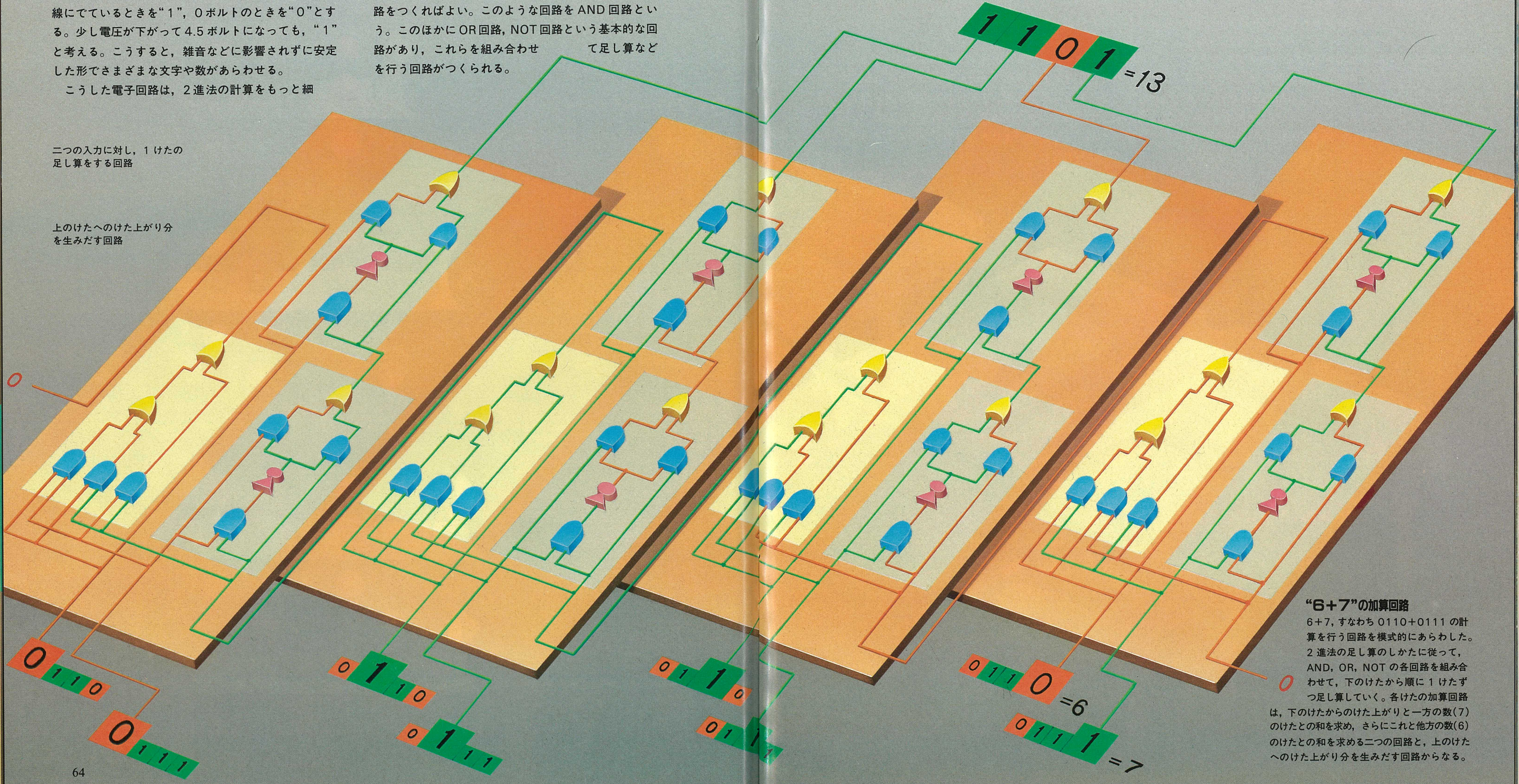
二つの入力のうち，どちらか一方が1であれば1が出力される回路である。したがって，両方とも0のときだけ0が出力される。



NOT回路

¬0→1
¬1→0

1が入力されると0を出力し，0が入力されると1を出力する回路である。すなわちこの回路は否定（逆）を示すものである。

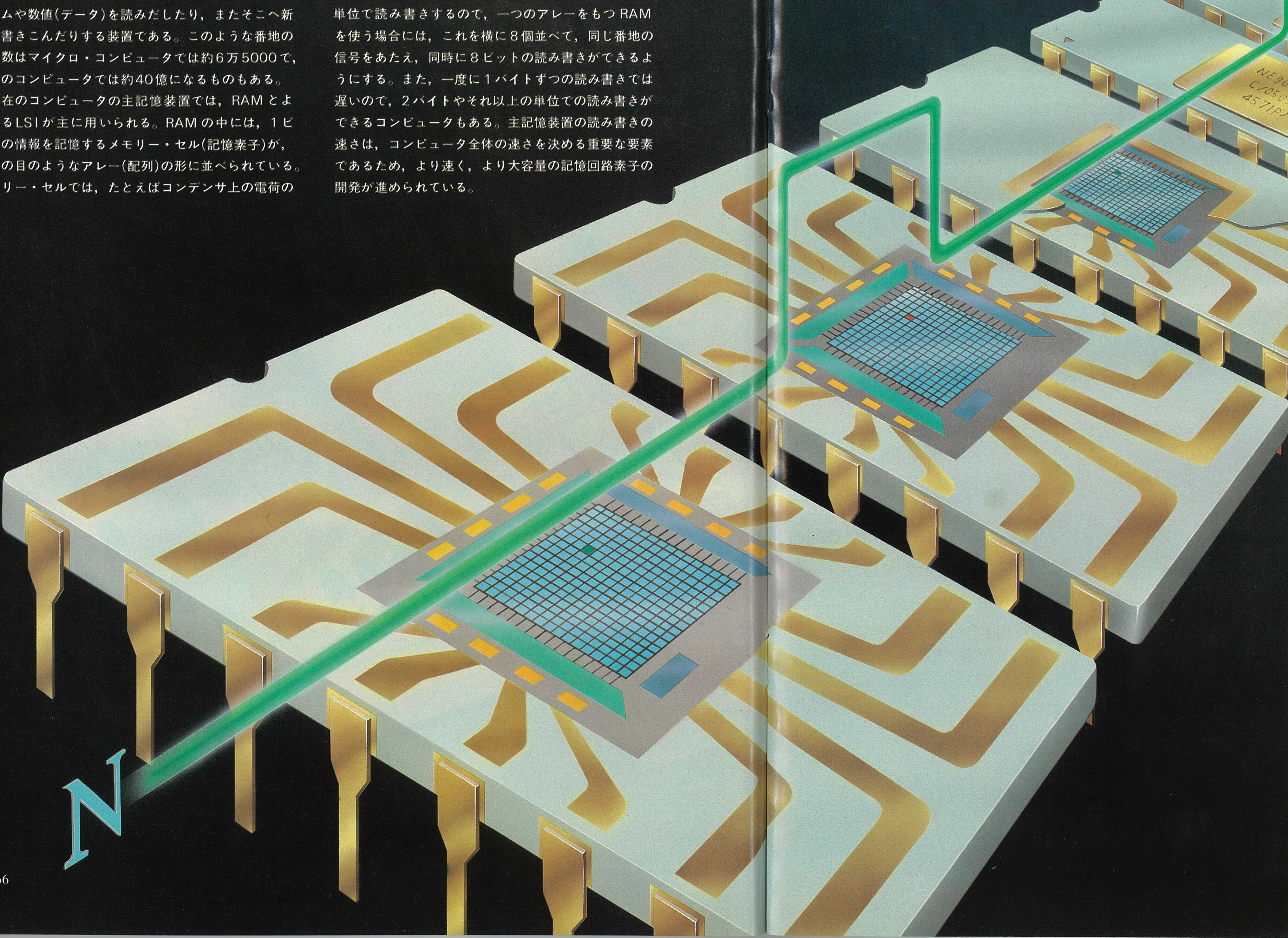


“6+7”の加算回路
6+7，すなわち0110+0111の計算を行う回路を模式的にあらわした。2進法の足し算のしかたに従って，AND，OR，NOTの各回路を組み合わせて，下のけたから順に1けたずつ足し算していく。各けたの加算回路は，下のけたからのけた上がりと一方の数(7)のけたとの和を求め，さらにこれと他方の数(6)のけたとの和を求める二つの回路と，上のけたへのけた上がり分を生みだす回路からなる。

計算のしかたをあらわすプログラムやそれに使う数値(データ)は，0と1のビットの列として，主記憶装置に蓄えられる。

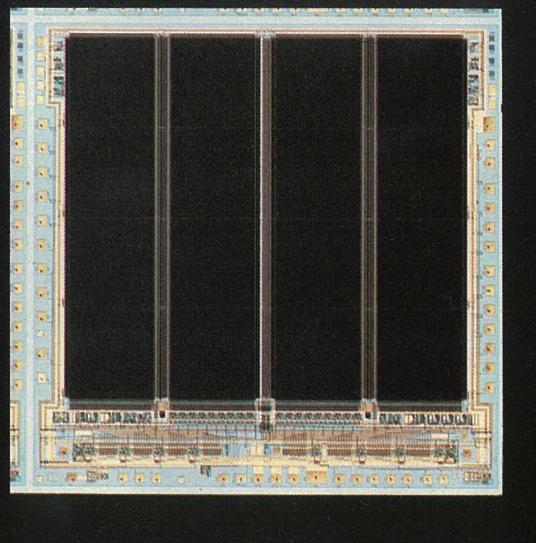
主記憶装置は，普通1バイト(8ビット)単位にくぎられ，順に0，1，2，…のように「番地(アドレス)」がつけられている。主記憶装置は，この番地を指定する信号があたえられたときに，その番地に蓄えられたプログラムや数値(データ)を読みだしたり，またそこへ新たに書きこんだりする装置である。このような番地の最大数はマイクロ・コンピュータでは約6万5000で，大型のコンピュータでは約40億になるものもある。

現在のコンピュータの主記憶装置では，RAMとよばれるLSIが主に用いられる。RAMの中には，1ビットの情報を記憶するメモリー・セル(記憶素子)が，碁盤の目のようなアレー(配列)の形に並べられている。メモリー・セルでは，たとえばコンデンサ上の電荷の有無として，1か0の情報が蓄えられる。アレーに番地を指定する信号をあたえると，そのなかの一つのセルが選ばれ，1ビットの情報の読みだし，書きこみができる。すでにのべたように，主記憶装置は1バイト単位で読み書きするので，一つのアレーをもつRAMを使う場合には，これを横に8個並べて，同じ番地の信号をあたえ，同時に8ビットの読み書きができるようにする。また，一度に1バイトずつの読み書きでは遅いので，2バイトやそれ以上の単位での読み書きができるコンピュータもある。主記憶装置の読み書きの速さは，コンピュータ全体の速さを決める重要な要素であるため，より速く，より大容量の記憶回路素子の開発が進められている。



16×16のアレーをもつRAMを8個並べた主記憶装置の模式図。番地をあらわす信号は二つに分けられ，アレーの縦方向と横方向を指す信号になる。ここでは，縦9列目，横3列目のセルが選択されている。8個のRAMからそれぞれ0，1，0，0，1，1，1，0というビットが読みだされたので，この番地には“N”という文字（あるいは10進法で“78”という数値）が記憶されていたことがわかる。

256キロビットRAMのチップ。現在商品化されている最大容量のものにくらべ，4倍の記憶容量をもつ。約6ミリ角のチップに60万個もの素子を組みこみ，最小1000分の1ミリの幅の超微細な配線がされている。



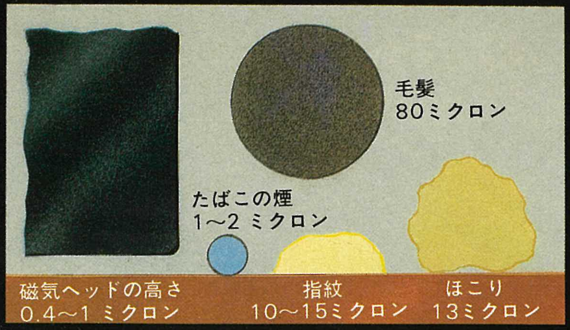
大量のプログラムやデータを蓄えておくために，補助記憶装置として磁気テープや磁気ディスクなどが使われる。

半導体メモリーに蓄えられた情報は，電源を切ると消えてしまうし，記憶できる量もそれほど多くない。そこで，大量のプログラムやデータなどを長い期間記憶しておくために，磁気ディスクや磁気テープ，フロッピー・ディスクなどの補助記憶装置が使われる。

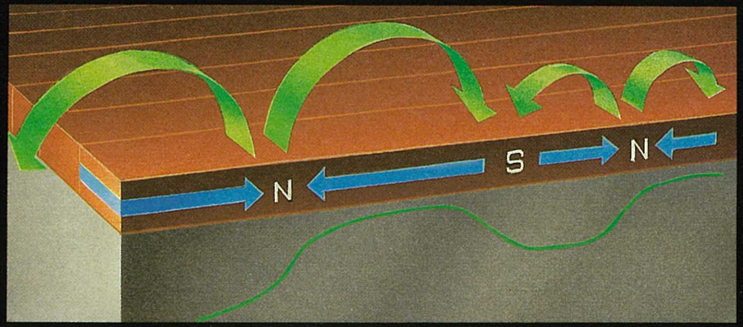
磁気ディスク装置では，回転している磁気円盤の表面に情報が蓄えられる。普通ディスクは，厚さ数ミリ，直径30センチほどのアルミニウム合金などの円盤に，磁性鉄酸化物を塗ってつくる。これを何枚か積み重ねて使う。円盤上には，目にみえない同心円状の記憶の帯(トラック)があり，これに沿って1と0の信号が磁気の形で記憶される。円盤は高速で回転しており，磁気ヘッドとよばれるセンサーが必要な情報の蓄えられているトラックまで移動していって，トラック上の1，0の信号を読み取る。

中央処理装置(CPU)は，磁気ディスクや磁気テープなどの補助記憶装置に蓄えられている情報を，直接読み取ることはできない。CPUはただ，補助記憶装置に読みだしの指令を送るだけである。情報は，この指令に基づいて主記憶装置に送りこまれ，演算に使われるようになる。

磁気ディスクや磁気テープに蓄えられている情報を読みだすには，普通，数十分の1秒かかる。これは，約100万分の1秒という高速度で読みだす主記憶装置にくらべると遅い。しかし，はるかに大きな情報量を安定して蓄えておくことができるため，磁気ディスクや磁気テープなどの補助記憶装置も，コンピュータ・システムではなくてはならない装置の一つである。

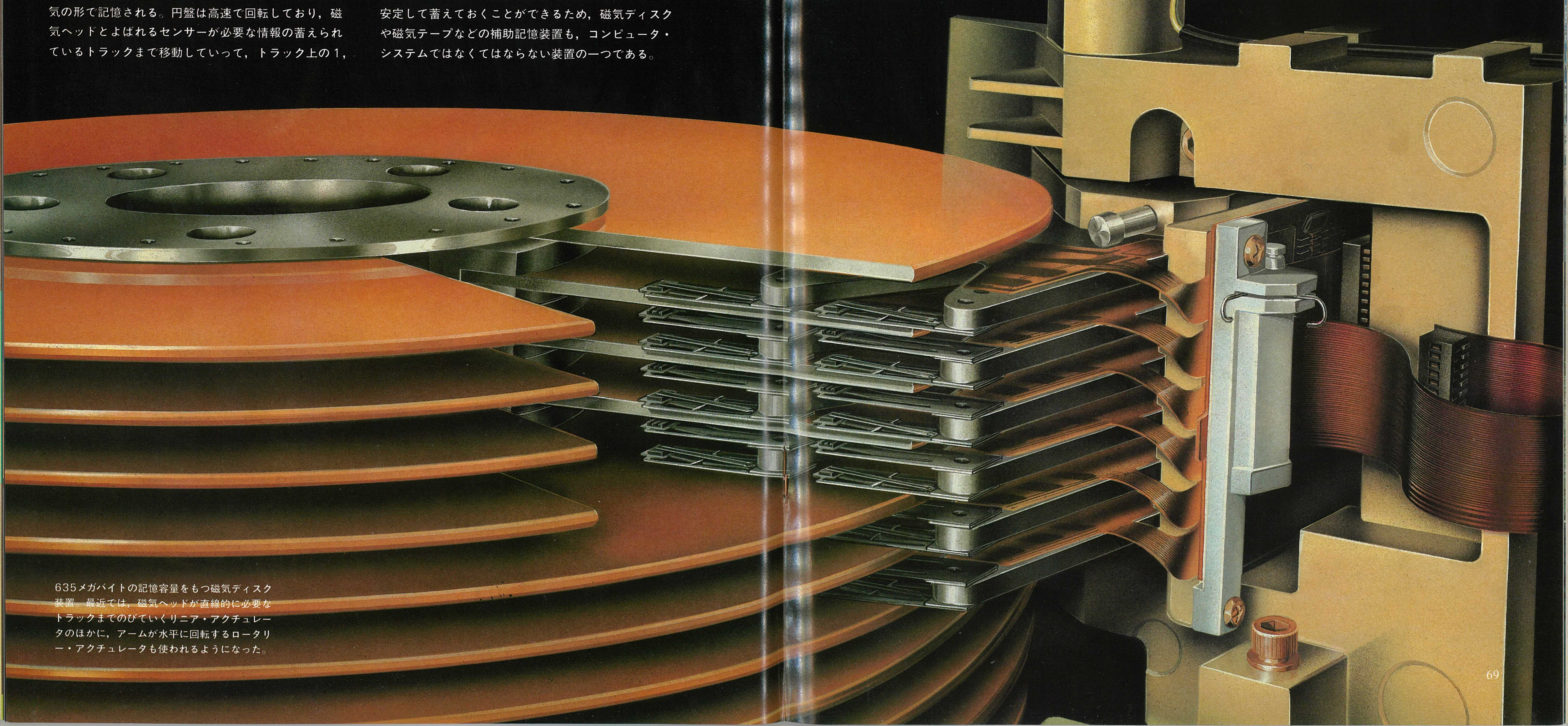


磁気ヘッドは，ディスクの高速回転によってもたらされる空気流で，ディスク上に浮かんでいる。その間隔はわずか0.4〜1ミクロンほどであるから，直径1〜2ミクロンの大きさのたばこの煙でさえ，障害物となってしまう。



記録の方法

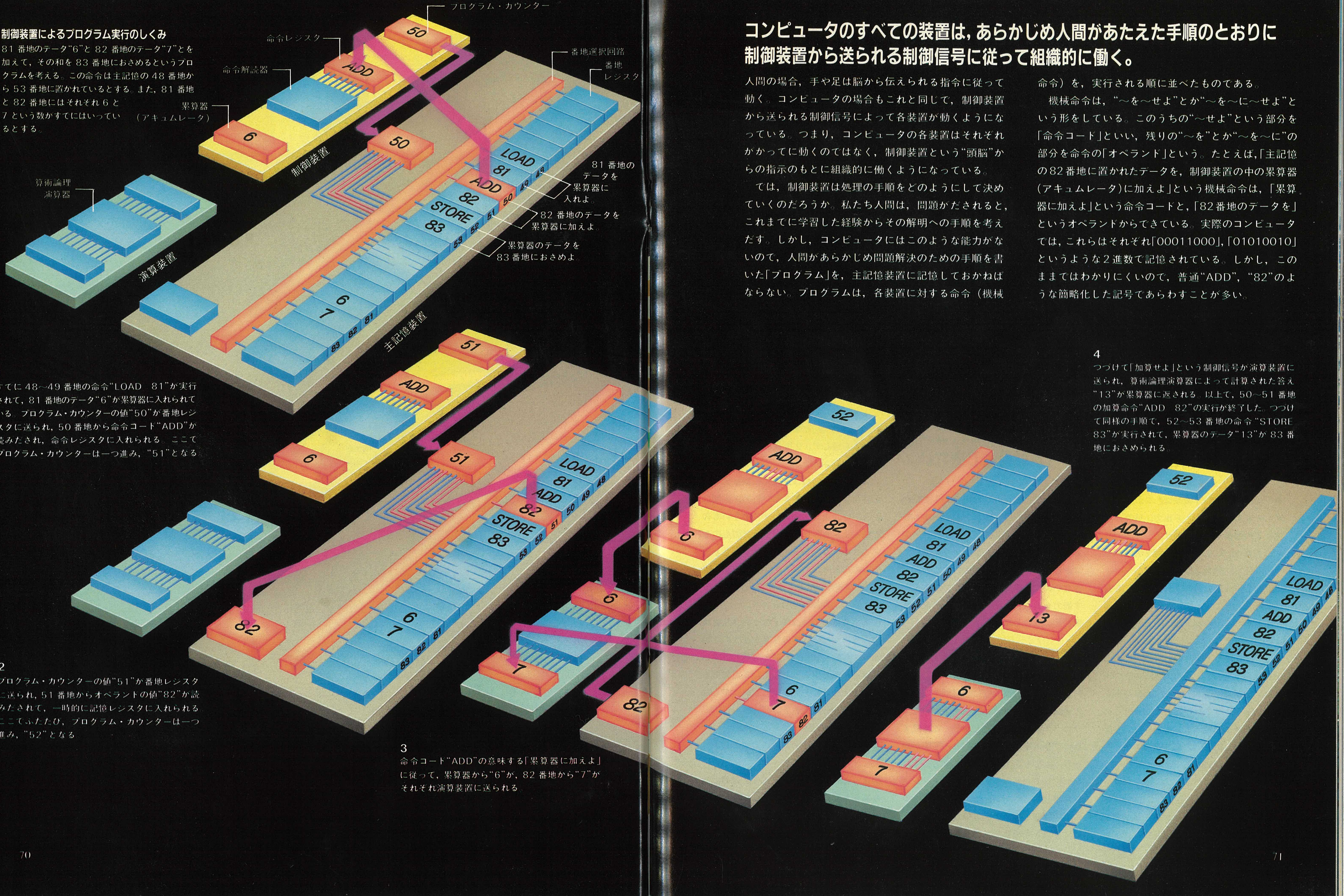
磁気ディスクや磁気テープなどでは，磁気ヘッドの巻線に電流を流し，それによって誘導される磁場で，ディスクやテープ表面の磁性材料を磁化して，情報を書きこむ。また読みだしは，ヘッドの巻線に誘導される電圧を検出して行う。記録方式にはいくつかあるが，基本的にはN極とS極をもつ小さな磁石をトラックに沿ってつくり，磁化の向きと大きさで，0，1の情報を記録する。



635メガバイトの記憶容量をもつ磁気ディスク装置。最近では，磁気ヘッドが直線的に必要なトラックまでのびていくリニア・アクチュレータのほかに，アームが水平に回転するロータリー・アクチュレータも使われるようになった。

制御装置によるプログラム実行のしくみ

81 番地のデータ"6"と 82 番地のデータ"7"とを加えて，その和を 83 番地におさめるというプログラムを考える。この命令は主記憶の 48 番地から 53 番地に置かれているとする。また，81 番地と 82 番地にはそれぞれ 6 と 7 という数がすでにはいっているとする。



1
すでに 48〜49 番地の命令"LOAD　81"が実行されて，81 番地のデータ"6"が累算器に入れられている。プログラム・カウンターの値"50"が番地レジスタに送られ，50 番地から命令コード"ADD"が読みだされ，命令レジスタに入れられる。ここでプログラム・カウンターは一つ進み，"51"となる。

2
プログラム・カウンターの値"51"が番地レジスタに送られ，51 番地からオペランドの値"82"が読みだされて，一時的に記憶レジスタに入れられる。ここでふたたび，プログラム・カウンターは一つ進み，"52"となる。

3
命令コード"ADD"の意味する「累算器に加えよ」に従って，累算器から"6"が，82 番地から"7"がそれぞれ演算装置に送られる。

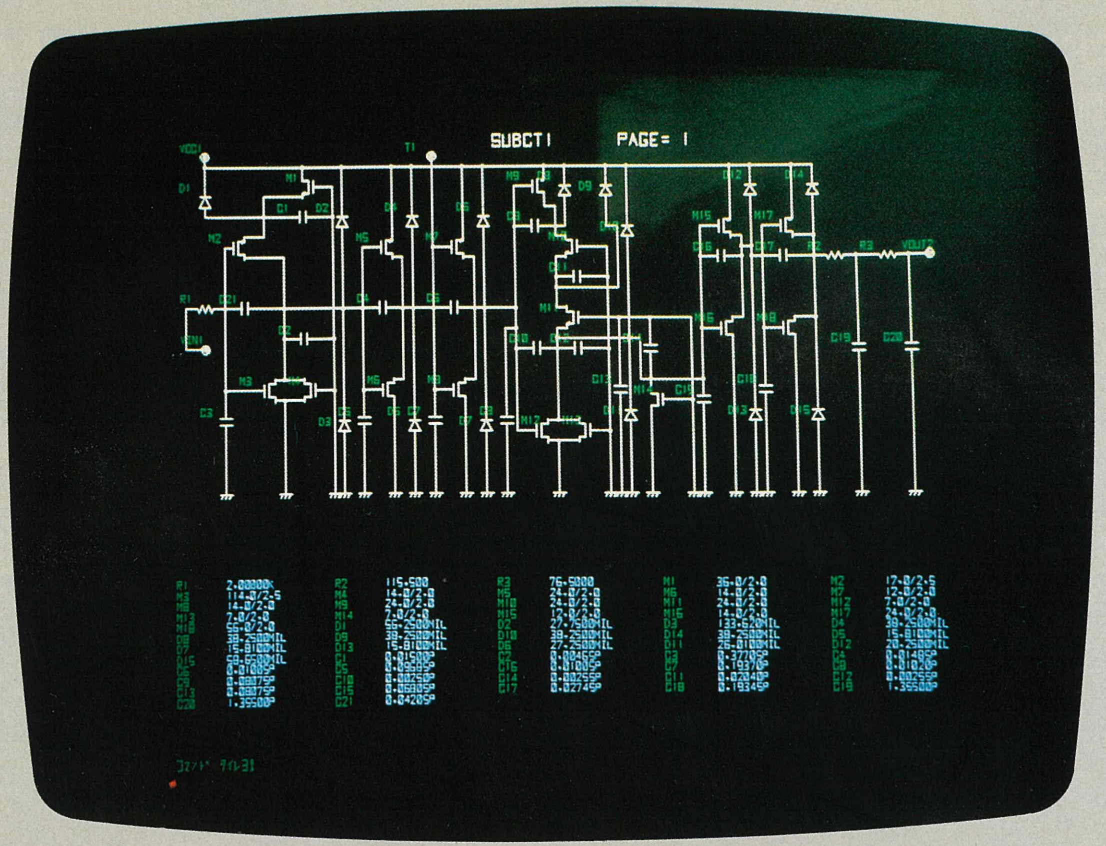
コンピュータのすべての装置は，あらかじめ人間があたえた手順のとおりに制御装置から送られる制御信号に従って組織的に働く。

人間の場合，手や足は脳から伝えられる指令に従って動く。コンピュータの場合もこれと同じで，制御装置から送られる制御信号によって各装置が動くようになっている。つまり，コンピュータの各装置はそれぞれがかってに動くのではなく，制御装置という"頭脳"からの指示のもとに組織的に働くようになっている。

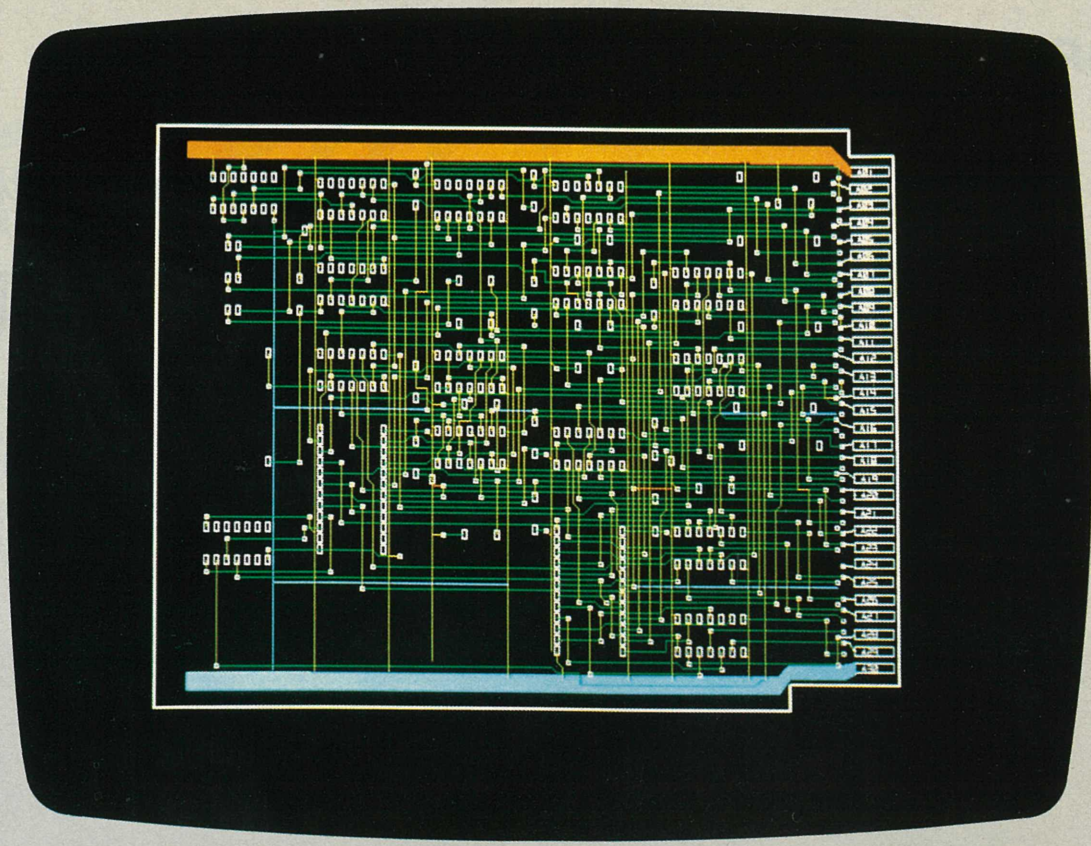
では，制御装置は処理の手順をどのようにして決めていくのだろうか。私たち人間は，問題がだされると，これまでに学習した経験からその解明への手順を考えだす。しかし，コンピュータにはこのような能力がないので，人間があらかじめ問題解決のための手順を書いた「プログラム」を，主記憶装置に記憶しておかねばならない。プログラムは，各装置に対する命令（機械命令）を，実行される順に並べたものである。

機械命令は，"〜を〜せよ"とか"〜を〜に〜せよ"という形をしている。このうちの"〜せよ"という部分を「命令コード」といい，残りの"〜を"とか"〜を〜に"の部分を命令の「オペランド」という。たとえば，「主記憶の82番地に置かれたデータを，制御装置の中の累算器（アキュムレータ）に加えよ」という機械命令は，「累算器に加えよ」という命令コードと，「82番地のデータを」というオペランドからできている。実際のコンピュータでは，これらはそれぞれ「00011000」，「01010010」というような2進数で記憶されている。しかし，このままではわかりにくいので，普通"ADD"，"82"のような簡略化した記号であらわすことが多い。

4
つづけて「加算せよ」という制御信号が演算装置に送られ，算術論理演算器によって計算された答え"13"が累算器に返される。以上で，50〜51 番地の加算命令"ADD　82"の実行が終了した。つづけて同様の手順で，52〜53 番地の命令"STORE　83"が実行されて，累算器のデータ"13"が 83 番地におさめられる。



LSIセルの回路を設計する。



デジタルプリント基板の自動配線

人間は何をすればよいかを自分で考えだすが，コンピュータはそれを人間が教えなければ何もできない。

コンピュータという機械は，これまで説明してきたように，入・出力，演算，記憶などの装置を組み合わせてつくられたものである。このような装置そのものは「ハードウエア」とよばれる。

しかし，人間は何をすればよいかを自分で考えだしていくのに対して，コンピュータのハードウエアは，それを考えだす能力をもっていない。このため，コンピュータを使うときには，計算のためのデータだけでなく，仕事の手順を一つ一つ書いたプログラムもあたえねばならない。ハードウエアは，たんにあたえられたプログラムに従って，入力装置からデータを入力したり，演算装置を動かしているにすぎないのである。このようなコンピュータのプログラムのことを「ソフトウエア」とよぶ。

いくら高価なハードウエアを並べても，コンピュータの場合，ソフトウエアがしっかりしていなければ何の役にも立たない。つまり，ハードウエアを生かすも殺すもソフトウエアしだい，というわけである。そしてこうしたソフトウエアは，コンピュータ自身では考えだすことができないので，結局ソフトウエアを考えだす能力をもった人間の頭脳こそが最も重要だということになる。

高水準言語。人間が理解できる言葉でプログラムをつくる。

ハードウエアが実際に理解できるのは，2進法であらわされた機械命令からなるプログラムしかない。しかし，2進数でプログラムを書くのはたいへん手間がかかり，とても人間の手に負えるものではない。このため，まず最初に「アセンブリ言語」が考案された。

この言語では，2進数の命令のかわりに，それを簡略化した記号を使う。これが「アセンブラ」とよばれる言語処理プログラムを通して，2進数の機械命令に変換され実行される。

アセンブリ言語は，たんに機械命令を記号化したものにすぎないため，人間にとっては，まだ十分にわかりやすいものではない。さらに，機械命令そのものも，ことなったコンピュータではまったく使いものにならない。このような欠点を解決するために，「高水準言語」とよばれるさまざまな言語が発明された。

高水準言語の特徴は，アセンブリ言語のように機械のための言葉を使うのではなく，むしろ私たち人間が理解しやすい言葉を使っていこうとしている点にある。

たとえば，Xを2倍したものにYを加えた結果をZに入れる。

Z←─2X+Y

という計算を，高水準言語では

Z=2＊X+Y

のように書けばよいのである。このような高水準言語で書かれたプログラムは，「コンパイラ」とよばれる言語処理プログラムによって，2進数の機械命令に変換される。また，機械命令に変換するかわりに「インタプリタ」とよばれるプログラムを使えば，このままで直接実行することもできる。

最初の高水準言語は，IBM社のバッカスによってつくられたFORTRANである。この言語は，現在でも科学技術用の言語として多くの人に使われている。その後事務用の言語としてCOBOLが考案され，事務処理の分野で広く使われるようになった。1960年代の前半では，このほかにALGOLやPL/Iぐらいしかなかったが，今日ではPASCAL，BASIC，Cなどもよく使われている。さらに，人工知能の研究などに多く使われるLISPやPROLOG，事務処理用として使われるテーブル型簡易言語（VISICALCやPIPS）など，さまざまな目的に応じて使いやすい言語が考案され，利用されるようになってきた。

コンピュータの“資源”とオペレーティング・システム

高水準言語の普及によってプログラムの開発が進み，目的とする仕事を処理してくれる応用プログラムがいくつも蓄積されるようになった。そこで，このようなソフトウエアも，ハードウエアと合わせて，コンピュータの“資源”とよばれるようになった。コンピュータがあらゆる目的に使えるためには，ソフトウエアとハードウエアの両方の資源が，ともに十分でなければならない。つまり，たんにハードウエアがすぐれているだけでなく，すぐれたソフトウエアが完備されていることが重要である。

しかしコンピュータは，資源が準備されているだけではまだ足りない。それらを上手に使えるためのシステムが必要である。こうした目的のために「オペレーティング・システム」とよばれるソフトウエアが発明された。

オペレーティング・システムは，入・出力装置，演算装置，主記憶装置，補助記憶装置などのハードウエア資源を効率よく働かせる役目と，応用プログラムやデータなどのソフトウエア資源を管理し，必要なときにそれらが簡単に使えるようにする役目をもっている。

すぐれたソフトウエアの充実がこれからの課題である。

今日では，コンピュータはあらゆる分野に進出している。それは，マイコンやパソコンなどの安価なハードウエアが出現したことと，その一方でスーパーコンピュータのような非常に高性能のハードウエアがつくられたことなど，さまざまな目的に応じたハードウエアが手にはいるようになってきたためである。

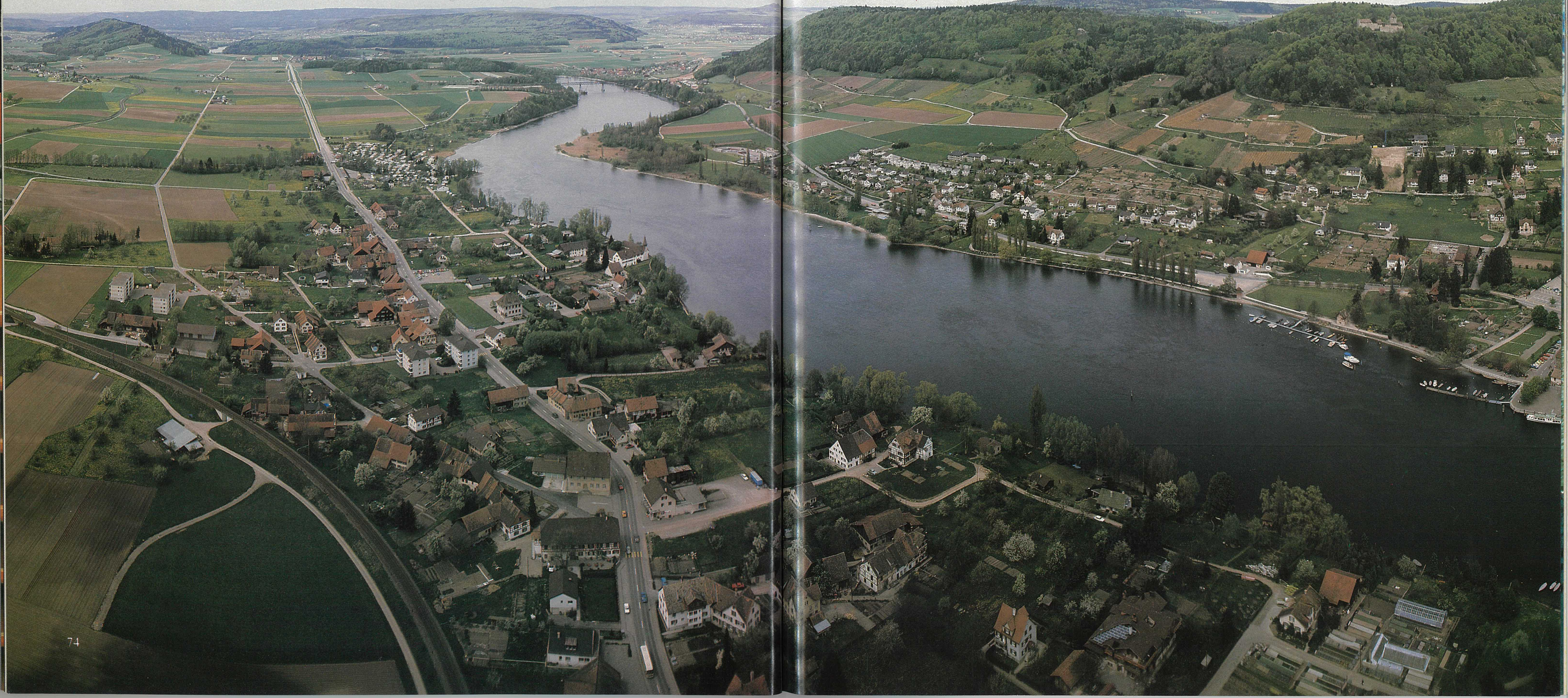
しかし，ソフトウエアについては現在，どんなハードウエアにも対応できるものがあるとはいえない。このため，ハードウエアは買えたが，ソフトウエアのかなりのものを自分でつくらなければならない，というのが現状である。いくら適切なハードウエアがあっても，すぐれたソフトウエアがなければ，コンピュータはその能力を十分に発揮することができない。したがって，オペレーティング・システムをはじめ，応用プログラムなどのさまざまなソフトウエアを充実させることが，今後の課題である。

GEOGRAPHIC

ヨーロッパの歴史を反映する父なる川 ライン川

竹内 均

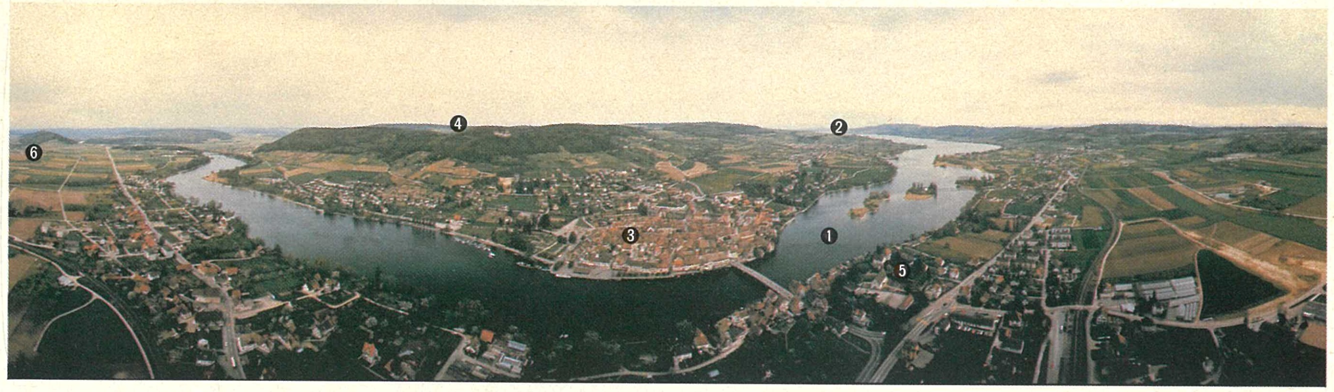
ヨーロッパのほぼ中央に源を発し北海へ注ぐライン川は，中世以来，南北をつなぐ最大の通路として，ヨーロッパの政治，経済，文化に大きな役割を果たしてきた。今日でも，スイス，リヒテンシュタイン，オーストリア，西ドイツ，フランス，オランダを結ぶヨーロッパの大動脈となっている。ライン川の流域では，これまで幾たびも，ヨーロッパの運命を左右した大きな出来事がおこった。ヨーロッパ史のなかで，ライン川ほどの重要な役割を果たした川はほかになく，昔からライン川はヨーロッパの川のなかで家父長の位置を占め，「父なるライン」とよばれてきた。この川の地誌を探ってみることにしよう。



源流部から流れでたライン川❶は，
ボーデン湖を経て，下の湖のウンターゼー❷
の西端にあるシュタイン・アム・ライン❸で
“高地ライン”となってまっすぐ西へ向かう。
ウンターゼーをでると，川幅は突然狭くなる。
これは，氷河期の末期に氷河が退行して
できた堆石堤（モレーン）のためである。

シュタイン・アム・ラインの町は
このモレーンの上にある。この町はスイスで
最もよく保存された中世の町で，独特の
張りだし窓や，すべての建物の壁に絵がある
彩られた町の姿を現代にとどめている。
町を見下ろす砂礫岩の高原には，11世紀に
建てられたホーエンクリンゲン城❹が
そびえている。橋を渡った所にある
ブルクの町❺には，昔ローマ軍が使った兵舎
があって，橋の通行を守っていた。
エッツビレン❻の数キロ下流には
シャフハウゼンの町があり，その郊外に
ライン滝がある。この滝をすぎるとライン川は
深さも幅も大きくなる。





74〜79ページの風景は，ライン川の上流地域のパノラマ写真である。スイスの風景写真家エミール・シュルテスが700メートル上空から撮影。

アルプス山中に源を発するライン川は，ヨーロッパの父なる川である。

ライン川はスイスのアルプスに源を発し，スイス，リヒテンシュタイン，オーストリア，フランス，西ドイツの各国内あるいはその国境を流れ，オランダで北海に注ぐ。全長1320キロメートル，流域面積約22万4000平方キロメートルの川である。「父なるライン」とよばれ，文化，歴史および経済的にみて，ヨーロッパで最も重要な川である。

スイス東部のアルプス山中には，前ライン川と後ライン川とよばれるライン川の二つの源流がある。前ライン川はオーベル・アルプ峠付近のトーマ湖（海抜2344メートル）から北東へ流れでる。また後ライン川はラインウァルトホルン山の中腹の氷河（海抜2320メートル）から出発し，最初は北東へ，つづいて北へ流れる。両者はクールの西方ライヒナウで合流する。前ライン川の源であるトーマ湖は“ラインの泉”ともよばれ，長さ250メートル，幅70メートルといったごく平凡な湖である。ここから流れでた前ライン川は，“150の谷間の地方”とよばれる谷沿いの地方を流れる。これらの地方では酪農がさかんである。ライヒナウで後ライン川と合流するあたりで，ライン川の川幅は一挙に70メートルといった大きさになる。

ライン川は“アルペン・ライン”，“高地ライン”，“上流部ライン”，“中流部ライン”および“下流部ライン”の五つの部分に分けられる。

スイス山中の源流部から，ボーデン湖を経てシュタインへ至る部分が“アルペン・ライン”である。それは，スイスとリヒテンシュタインおよびオーストリアとの国境を流れている。さらに，シュタインからバーゼルへ，スイスと西ドイツの国境沿いに西へ流れる部分が“高地ライン”である。バーゼルから北へ向きをかえたライン川は，やがて西へ向かって流れ，ライン峡谷の入口にあるビンゲンへ至る。この区間を“上流部ライン”という。このうちのバーゼルからカールスルーエへ至る区間では，ライン川はフランスと西ドイツの国境を流れる。また，ビンゲンからボンへ至る区間，およびそれより下流の西ドイツとオランダを流れる部分が，それぞれ“中流部ライン”，“下流部ライン”である。

ライン川に運河を張りめぐらし，北海と地中海，黒海をつなぐ計画が進行中。

上流部ラインより下流では，ライン川はヨーロッパの他の川や運河とつながり，ヨーロッパの動脈となっている。上流部ラインのフランス側には，ローヌライン運河とマルヌライン運河があり，どちらもストラスブールでライン川と結ばれている。さらに，西ドイツ側からはネッカー川，マイン川がライン川へと注いでいる。中流部ラインではモーゼル川，下流部ラインではルール川およびオランダの諸運河がライン川とつながり，これらの川や運河沿いの地方がライン川を通じて海につながっている。

現在ローヌライン運河の大拡張が計画されており，それが完成したあかつきには，地中海と北海をつなぐ水路となるはずである。また，ライン川沿いのマインツからマイン川をさかのぼり，フランクフルトやニュルンベルクを通り，さらにオーストリア，チェコスロバキア，ハンガリー，ユーゴスラビア，ルーマニア，ブルガリア，ソ連を経て，黒海へ達するヨーロッパ運河の建設が進められている。全長3500キロメートルにおよぶこのヨーロッパ運河が完成すると，北海と黒海とが水路によって結ばれることになる。これらはいずれも，1815年のウィーン会議で承認され，さらに1918年に沿岸諸国だけでなく，あらゆる国の船舶に適用されるようになったライン川航行自由の原則の延長線上にある計画に基づくものである。

にある
軍が使った兵舎
いた。
には
その郊外に
ぎるとライン川は





ライン川はスイスのアルプス山中に発する。その源流の一つは，オーベル・アルプ峠近くの，バートス峰を中心とする山塊に守られた谷間に，清らかな氷雪の水をたたえたトーマ湖である(写真左の山上付近)。この湖は“ラインの泉”とよばれる。もう一つの源流は，トーマ湖東南40キロの所にそびえるラインヴァルトホルンの中腹の氷河から流れでている。

アルプス山中を流れるアルペン・ライン と唯一の滝を有する高地ライン。

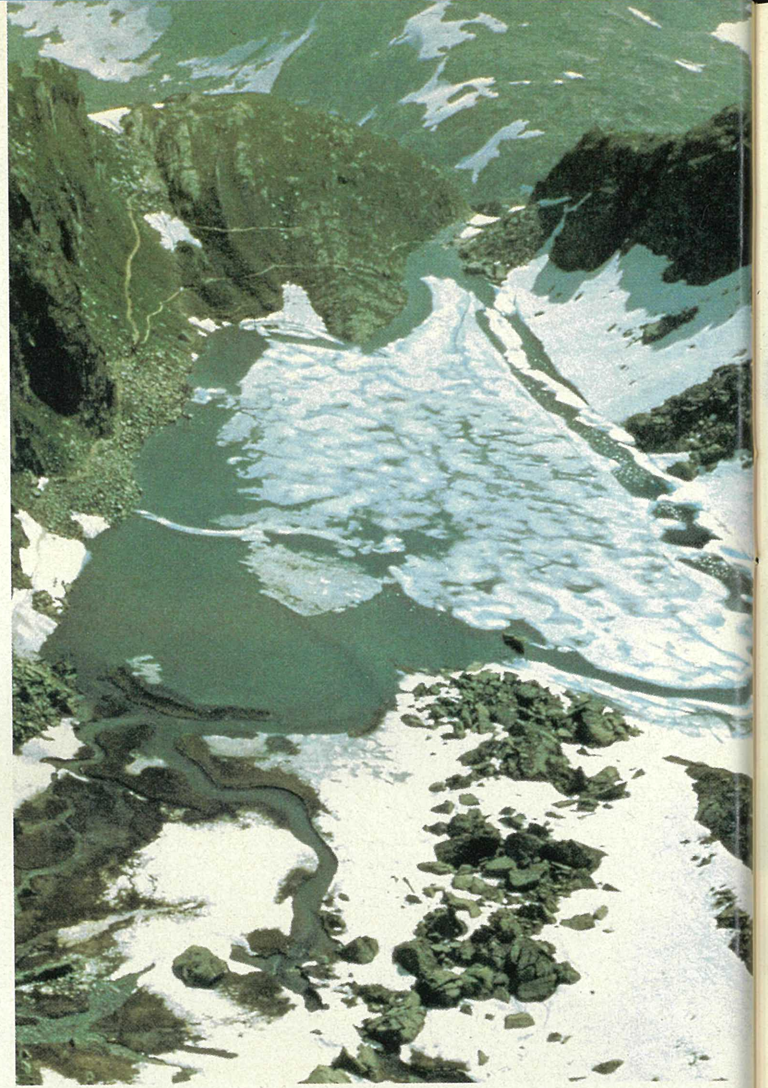
アルペン・ライン中の，前ライン川と後ライン川が合流する付近の町クールから出発して，河口に近い所にあるロッテルダムまで，ライン川を流れ下ってみよう。

クールを出発したアルペン・ラインは，スイスとリヒテンシュタインおよびオーストリアとの国境に沿って北へ流れ，ボーデン湖へ注ぐ。リヒテンシュタインは東西10キロ，南北24キロ，人口2万5000のミニ立憲君主国であり，主な産業は切手の発行を含む観光と精密工業である。

ボーデン湖へ流れこんだライン川は，西ドイツのコンスタンツでいったん湖をでると，数キロ下流のウンターゼー（下の湖という意味）へはいり，シュタインでこのウンターゼーを流れでて，ふたたびライン川となる。北方のドナウ川の水は石灰岩地帯で地下へしみこみ，ボーデン湖へ注いでいる。したがって，シュタインでふたたびライン川となった水のなかには，ドナウ川からのもまじっていることになる。シュタインは正式な町名をシュタイン・アム・ラインといい，400～500年の歴史をもつ，中世のたたずまいを最もよく残したスイスの町として知られる。

このシュタインからバーゼルへ至る高地ラインのシャフハウゼンの下流に，ライン川でただ一つの滝であるライン滝がある。ライン滝は幅115メートル，高さ20メートル，毎秒32万リットルの水量をもった滝である。滝の存在からもうかがえるように，この区間には急流が多く，水力発電用のダムも多い。ライン滝をすぎたあたりから，ライン川は西ドイツの有名なシュバルツバルト（黒い森という意味）の端に沿って流れ，バーゼルへと至る。

バーゼルは人口20万を超え，チューリッヒに次ぐスイス第2の大都市であり，南方約70キロにある首都ベルンに対する外港ともなっている。また，フランスや西ドイツに近い国境の町であり，これらの3国をつなぐ商業，交通上の要地である。ライン川では，このバーゼルまで2000トン級の船がさかのぼり，荷物の年間輸送量は2億トンを超える。19世紀までは穀物が主な荷物であったが，その後は石炭，鉄鉱石となり，現在ではそれに石油，土木建設資材などが加わっている。スイスは，輸入量の約3分の1をライン川を通して受け取っており，スイスがもっているライン川航行用の荷物船やタンカーの総トン数は，海沿いの国に負けないくらい多い。その意味では，スイスは大水運国である。西向きに流れてきたライン川は，ここバーゼルで向きを北へとかえ，スイスに別れを告げる。


トーマ湖をでた氷雪の水は，東へ向かって急勾配を一気に下り，谷間を流れ落ちる。谷々を下るうちに，無数の渓流の流れを集めて大きくなる。


ライン川唯一の滝。幅115メートル，高さ20メートルのこのライン滝からは，毎秒32万リットルの水がすさまじい音とともに水煙の中に落ちてゆく。

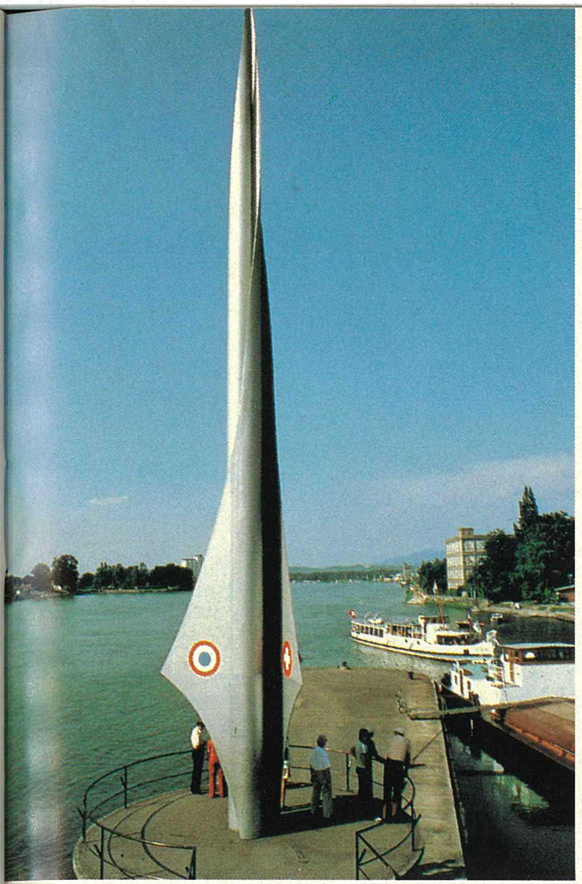




ピンが刺してある地点は写真が掲載してあります。



ライン滝をすぎると，バーゼルまでライン川はスイスと西ドイツの自然の国境となっている。左側はドイツのシュバルツバルト(黒い森)。



スイス，フランス，西ドイツの国境がこの塔に集まる。



バーゼルの夏の名物行事，ボート競争。スイス各都市から参加したボートが疾走する。

峡谷を流れる上流部ラインは，支流や運河網などに富んでいる。

バーゼルからビンゲンへ至る上流部ラインは，ライン地溝帯とよばれる幅30～40キロメートルの峡谷を流れる。カールスルーエ近くまでは，ライン川は西ドイツとフランスの国境沿いに流れ，その西側にボージュ山脈，東側にシュバルツバルト山地がある。この部分のライン川沿岸の都市としては，フランスのストラスブールがある。その下流でライン川は，西ドイツとフランスの国境を離れる。西ドイツ国内を流れる上流部ラインの沿岸には，カールスルーエ，マンハイム，ボルムス，マインツなどの諸都市があり，マンハイムの東には西ドイツで最古の大学をもった町ハイデルベルクがある。北向きに流れてきたライン川が，向きを西に転じるあたりにあるマインツでは，下流から上ってきた多くの船が支流のマイン川へはいり，西ドイツの商工業の中心地であるフランクフルトへと向かう。

ストラスブールは，ローヌライン運河，マルヌライン運河などのヨーロッパの運河網の要地である。1815年のウィーン会議でつくられた，ライン航行中央委員会の所在地でもある。この委員会は，今もなお活動している世界最古の国際機関であり，国際河川としてのライン川の通行・航路の改良工事，規制などの問題を扱っている。

ストラスブールを中心とするアルザス，ロレーヌ地方は，古くからフランスとドイツとの間でその領有が争われてきた。普仏戦争後の1871年には，その領有がフランスからドイツへと移り，第一次世界大戦後の1919年には，ベルサイユ条約によってふたたびフランスに返還された。第一次世界大戦と第二次世界大戦との間に，フランスおよびドイツの要塞線であるマジノ線およびジークフリート線がつくられたのもこのあたりである。

上流部ラインでは，1817年から1874年にかけて，マンハイムの少し上流部にあった蛇行部分をショートカットする大規模な改修工事が行われた。この工事によって，流路が80キロも短縮されたが，このために流速が増して浸食が進み，河床が下がるといった思いがけない影響もでてきた。また，上流部ラインと中流部ラインとの境にあるビンゲン付近の岩礁も，長い間ライン川航行の障害物となっており，これによってライン川の航行が二分されていた。1830年から1832年にかけての岩礁爆破工事によって，この障害物がようやく取りのけられたのである。

風光明美な中流部のながめと，大工業地帯をもたらした下流部の流れ。

ビンゲンからボンへ至る中流部ラインは，ライン川の全流路のなかで最も風光明美で，またロマンスに富んだ部分

である。上流部ラインのマイン川との合流点付近で600メートルもあった川幅が，100メートルほどにせばまったあたりに，有名なローレライの岩がある。ハイネが詩をつくり，ジルヒャーが曲をつけ，竹友藻風が訳した歌は，日本でも広く知られている。伝説によると，130メートル余りの高さをもったこの岩の上に，金髪のローレライが身を横たえて，豊かな髪を梳いていた。彼女の歌う歌声に魅せられて，漁師たちは艪をこぐ手をとめる。船は急流に流されて岸辺の岩にぶつかり，粉々に砕けるというわけである。この物語のように，今でも，とくに夜間には熟練した水先案内人を乗せなければ，船はこの難所を通過できない。がけの上にある多くの見張り所からは，手旗信号を使って次から次へと信号が船へと伝えられるのである。

ボルムスの下流から中流部ライン，さらには支流のモーゼル川に沿った地域は，ラインおよびモーゼル・ワインの産地として知られている。また，岩壁や流れの中の島に建っている古城も有名である。これらの城には，ライン川を通る船を襲った盗賊たちが，また領主や大司教が住んでいた。そのなかではマルクスブルク城だけが破壊されずに，現在まで昔のままの姿を保っているといわれている。

ボンに近いドラッケンフェルス(竜の岩の意味)城のある岩にも伝説が残されている。この岩の上に，かつて1匹の竜がすんでいて，日ごとに人身御供を要求した。ある日，十字架をもった美しい乙女がいけにえとして連れてこられた。竜は彼女の美しさと勇気に打たれ，目をまわしてライン川へ転落してしまったという。

西ドイツの首都であるボンは，中流部ラインと下流部ラインとの境にある。その下流にケルン，さらに下流のルール地方にはデュッセルドルフ，デュイスブルク，エメリッヒなどの町がつらなっている。かつてのボンは閑静な大学町であり，ベートーベンの生まれた町として知られていた。ボンを西ドイツの首都として選んだのは，ボンから数キロメートル下流にあるケルンの市長を17年間勤めた故コンラッド・アデナウアーである。

ケルンという名は，植民地を意味する「コローニア」からきている。その名のように，紀元前1世紀の中ごろに，カエサル(シーザー)がライン川の上流地方の両岸に住んでいたケルト人を攻撃した際に，軍事基地となったのがこの町の歴史のはじまりである。ケルンのシンボルは，高さ157メートルもあるヨーロッパで最大の大聖堂である。これは世界でも指折りのゴシック建築であり，1248年に着工して以来，632年の歳月をかけ，19世紀の終わりに完成した。

ルール地方はヨーロッパで最大の工業地帯である。デュッセルドルフはこのルール工業地帯の商取り引きの窓口であり，デュイスブルクはルール炭業の中心である。ここにはヨーロッパで最大の河川港がある。

オランダではライン川の流れを昔は風車，今ではコンピュータで管理している。

エメリッヒで西ドイツに別れを告げたライン川は，最後の国オランダへはいる。ライン川は，オランダにはいるとすぐレック川とワール川に分かれ，それらがふたたび合流するのはロッテルダムの下流においてである。

オランダを流れるライン川のながめは，空と水ばかりのようにみえる。ライン川が長い年月にわたって，はるかかなたのアルプスから運んできた砂や泥からなるオランダの土地は，水平線下にある。風車その他を使ってこの土地を排水しながら，オランダ人は北海へ向けてその国土を広げていった。これが「天と地は神がつくった。しかしオランダはオランダ人たちがつくった」といわれるゆえんである。

オランダでは，国土全体に運河が張りめぐらされており，またライン川南西部の五つの河口を全部水門で閉じて，オランダ中の水位をコンピュータで制御，管理しようという計画が進んでいる。これによって洪水をなくし，また干拓を容易にしようというものである。

ライン川の河口近くにあるロッテルダムは，ヨーロッパ最大の港である。ここより下流では，ライン川は新しくつくられた水路をたどって北海へでる。水路の両側には1958年以来建設がはじまったユーロポートとよばれる工業港や工業地帯があり，ライン川が海に注ぐあたりには，大規模な石油貯蔵施設や石油化学コンビナートが建ち並んでいる。



中流部ライン。ライン川は左右にわずかにうねりながら流れ，ローレライ（写真左の岩）付近で大きく蛇行する。手前はブルクカッツ城。ビンゲンからコブレンツまでの間に，中世に築かれた20余りの古城がそびえている。



中流部ラインに沿った山の斜面は，ワイン用のブドウの畑が広がる。マルクスブルグ城がラインを見下ろす丘の上にそびえている。

ライン川をめぐって，多くの民族が領地争いをくりかえしてきた。

上流部および中流部ラインは，ドイツ中央高地をきざんで流れている。この中央高地は中生代の地層からなる。それが，今から約7000万年前以後のアルプス造山運動の影響を受けて断層運動をし，ライン地溝帯のような地溝や，ローレライやドラッケンフェルスなどのような岩山をつくった。このあたりには，この断層運動に関係したカイザーシュツールのような火山や，バーデンバーデンのような温泉もある。この地域は，ドイツで最も温暖な土地である。また，下流部ラインの周辺は肥よくなレス(黄土)地帯である。

ライン川沿いのこのような自然を背景として，さまざまな人間の歴史が展開された。歴史時代の初期には，ライン川の上流地方にはケルト人が，下流地方にはゲルマン人が，いずれも川の両岸にまたがって住んでいた。古代のローマ人は，ケルト人たちの住む地域をガリア(英語ではゴール)とよんでいた。紀元前１世紀の中ごろにカエサルによって行われたガリアへの遠征によって，ライン川沿いの地域はローマ領となった。一方，このときのことをカエサルがあらわした『ガリア戦記』は，当時のケルト人やゲルマン人の研究には欠かせない資料となっている。

やがて，395年にローマ帝国が東西に分裂し，そのうちの西ローマ帝国が476年に滅びた。このころからゲルマン民族がライン川を越えてローマ帝国領内へ進出し，フランク王国をつくった。そして843年にこのフランク王国が分裂し，こうしてできた東および西フランク王国が，それぞれドイツおよびフランスへと発展した。そして1600年代以後は，このドイツとフランスとの間で，ライン川をめぐってのはげしい争いが展開されたのである。

ライン川上流部の町ボルムスは，有名な伝説『ニーベルンゲンの歌』の舞台である。

ゲルマン民族の伝説を集大成したのが，1200年ごろにつくられたとされている有名な『ニーベルンゲンの歌』である。ブルグント族の王グンターは，アイスランドの女王ブルンヒルトを妻にと強く望んだ。しかし，彼女は並はずれた力をもっており，グンターは容易に近づくことができなかった。“ニーベルンゲンの宝”をもっていたネーデルランドの王子ジークフリートは，宝の一つである“かくれみの”で姿をかくし，グンターの望みをとげさせてやることに成功した。グンターはその報酬として，美ぼうの妹クリームヒルトをジークフリートにめあわせたのである。

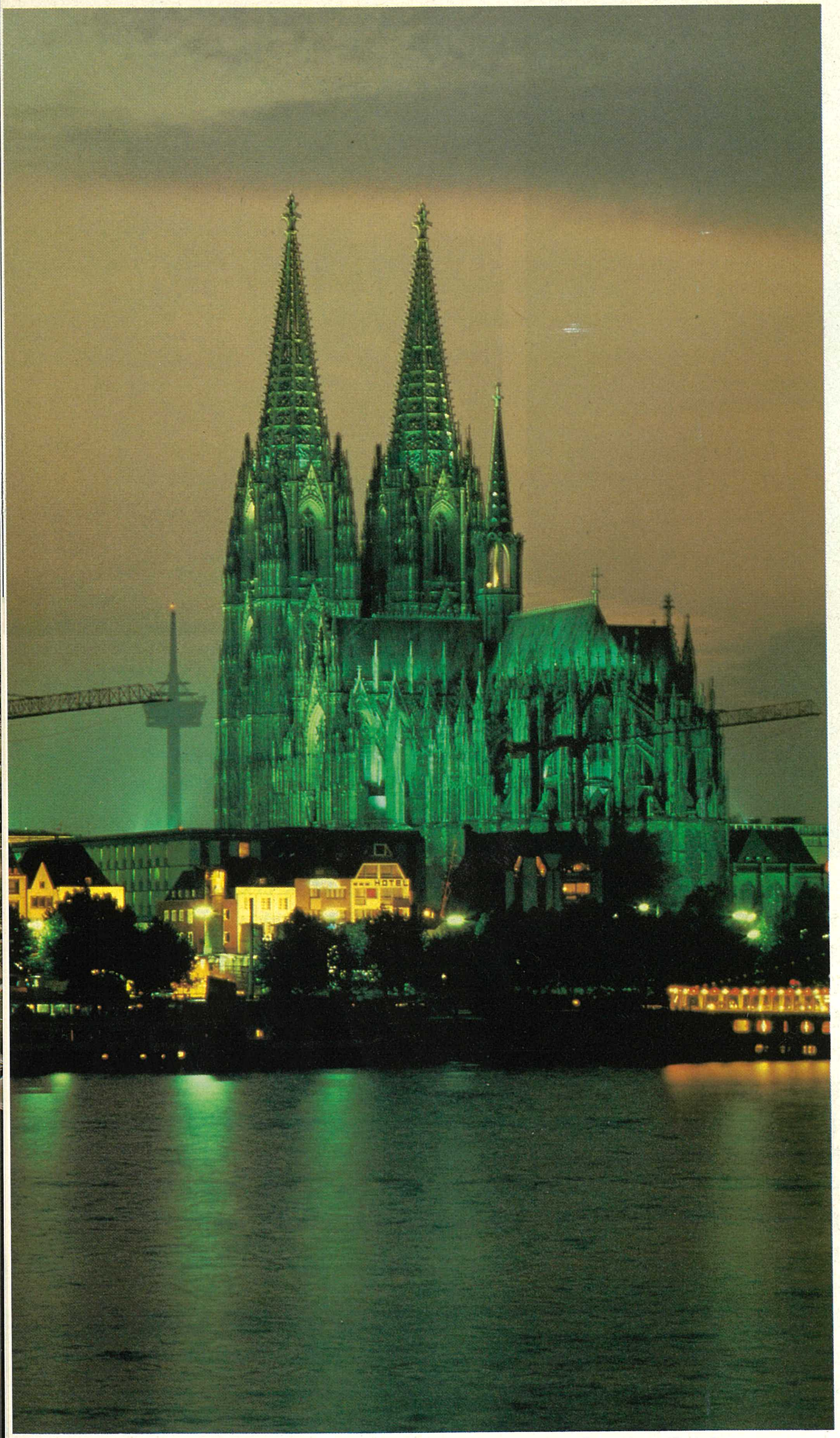
のちにブルンヒルトとクリームヒルトが自分たちの夫を自慢したときに，クリームヒルトから事情を聞いたブルンヒルトは，名誉を傷つけられたとして復しゅうをくわだてる。しかしジークフリートは不死身であった。それは“ニーベルンゲンの宝”を手に入れる際に，宝の番をしていた竜の返り血を浴びたためである。しかし返り血を浴びたときに，たまたま菩提樹(リンデンバウム)の葉が降ってきた背の部分だけは血に染まらなかった。そこがジークフリートの泣きどころとなっていた。ブルンヒルトはグンター王の重臣ハーゲンを使ってこの急所を襲い，ジークフリートを暗殺した。ハーゲンはクリームヒルトから“ニーベルンゲンの宝”をも奪い，それをライン川の底に沈めさせた。

悲嘆にくれたクリームヒルトは，やがてフン族の王エッツェルの求めに応じて再婚した。彼女は王を口説いてブルグント族をハンガリーの城に招き，ここで夫の敵のハーゲンと兄のグンターを討つ。しかしクリームヒルト自身もその戦いの最中に命を落とすのである。

ライン上流部のボルムスはブルグント族の都であり，ここでジークフリートが悲劇的な死をとげたのである。

ライン川のほとりで数多くの歴史上の英雄たちが戦い，また川を横切った。

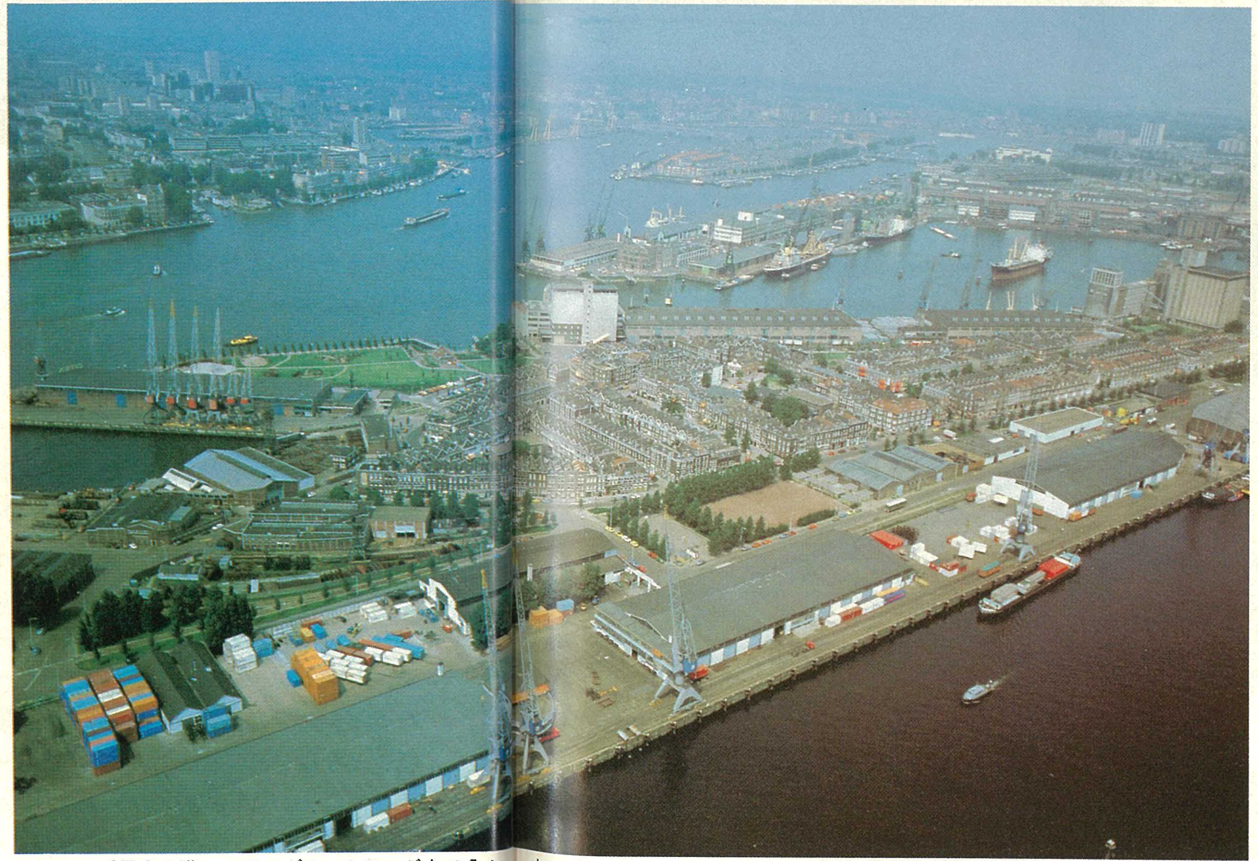
1521年４月，宗教改革を唱えるマルチン・ルターを召喚する会議が開かれたのも，このボルムスである。しかしル



ケルンのシンボル，大聖堂。ライン川は，ケルンではじめて“大都会の川”となる。



オランダの西部ハーリングフリートの河口。ラインは左側の北海に注ぎこむ。ここでは34基の巨大な水門で水量を調節している。



ヨーロッパ最大の港ロッテルダム。オランダ内で分かれて流れるライン川は，ロッテルダムでまた集まり，北海に流れこむ。

ターは，彼の主張をひるがえさず，4月末にボルムスを去って，ザクセンのフリードリッヒ侯の保護を受けてワルトブルグ城にかくまわれた。

ルターの宗教改革によって新教国となったドイツなどの国と，フランスを代表とする旧教国との間におきた戦いが三十年戦争(1618～1648)である。この戦いによって，ドイツはライン川の源流部と下流のデルタ地帯を失うことになった。その後，ルイ14世(在位1643～1715)のもとで，フランスはついにアルザス地方を獲得した。さらにフランス革命戦争(1792～1799)の際に，フランスはライン川沿いの大部分を東部国境とすることに成功した。その後はライン川を越え，またライン同盟を通じて，エルベ川やナイセ川にまでその勢力を拡大した。これに対して，「ライン川はドイツの川であり，フランスとの国境ではない」とする詩人E・M・アルントを代表とするドイツ民族主義がおこったにもかかわらず，フランスの勢いを止めることができなかった。さらにナポレオン戦争後に開かれたウィーン会議でも，アルザスはフランス領としてとどまり，またライン川はドイツとフランスとの国境でありつづけた。

その後の普仏戦争で破れたフランスは，アルザス地方を失った。このときのプロシア軍の軍歌は，M・シュネッケンブルガーによってつくられ，K・ウィルヘルムによって作曲された「ラインの守り」であった。第一次世界大戦後のベルサイユ条約によって，この地方はふたたびフランス領となった。第二次世界大戦中には，バーゼルからカールスルーエに至るライン川沿いのマジノおよびジークフリート要塞線を越えたドイツ軍がフランスへ進出したが，大戦後にはアルザス地方はフランス領となり現在に至っている。

これまで多くの歴史上の人物が，ライン川のほとりを進み，またこれを横切った。カエサル（紀元前102？～44)，フン族の王アッチラ(406？～453)，ルイ14世(1638～1715)，ナポレオン(1769～1821)，ビスマルク(1815～1898)，ドイツ名のアイゼンハウアー(1890～1969)といった人々である。

1945年3月7日にはボン近くのレマーゲン鉄橋を連合軍が確保した。ライン川にかかる橋を次々に爆破したドイツ軍は，その日の午後にレマーゲン鉄橋を破壊するはずであった。それに数時間先立って，連合軍はこの橋を確保し，これを越えてライン川の右岸(東岸)へ進出した。ライン川右岸に住んでいた当時12歳のハンス・ハスベンダーが，左岸に住むおばへ「右岸へ避難するように」という言づてをしたあとで，自転車でこの鉄橋を渡り終えたまさにその瞬間に，右岸へ向けての連合軍の攻撃が開始されたという。それは，第二次世界大戦の最後の章であった。

SUPER MECHANISM

レーザービームプリンタ

プリンタは，コンピュータ内部に電気的記号として記憶されているデータを，人間の目でわかる文字に変換する出力装置である。コンピュータによる情報処理の高速化・多様化にともない，印字速度が速く，漢字や図形を出力できるレーザー光を利用したプリンタが登場してきた。キヤノンLBP-8000は，レーザー光と複写機の技術を組み合わせた超高速プリンタで，データといっしょに書式も同時に印刷できる独自の機能を備えている。

キヤノンLBP-8000

外形寸法　2460（幅）×1360（高さ）×960（奥行き）mm
印字方式　レーザー光＋NP電子写真方式
印字速度　1万2043行／分（12行／インチ）
8029行／分（8行／インチ）
6021行／分（6行／インチ）
解像度　9.4本／mm
用紙　スプロケット穴つきファンフォールド紙
幅6.5〜16インチ
文字容量　最大5万8000字（7ポイント換算）
文字サイズ　7・9・12ポイント，その他



定着装置
用紙に転写されたトナー像を，200度Cの温度と200キログラムの圧力を加えてとかし，用紙表面にトナーを定着させる。

A/Oモジュレータードライバー
印字する文字の像は，オンとオフの電気信号である。この信号がここに入力されると，高周波信号に変換され，A/Oモジュレーターの入力信号となる。

感光ドラム
最上部が絶縁層，その下が光半導体，その下が導電層となっている。印字するときには，表面にプラスの静電気を帯電させる。ここにレーザー光が照射されると，その部分の光半導体だけが導体となるために，絶縁層上の静電気がなくなり，肉眼ではみえない文字の像（静電潜像）がつくられる。

スタッカー
定着の終わった印字紙を折りたたんで積み重ねる。

転写装置
用紙の裏面にマイナスの静電気をあたえ，感光ドラム面上の文字の像をつくっているトナーを静電気力ではぎ取り，用紙の定められた位置にトナー像を写し取る。

ファンフォールド紙
印字するための連続した用紙。普通の上質紙程度の厚さから，葉書き程度の厚さの用紙まで使用することができる。

現像器
樹脂粉末のトナーを磁気的に付着させた回転ローラー。トナーはプラスの電気をおびているので，感光ドラムと接すると，感光ドラム面上の静電気を失った静電潜像の部分にだけトナーが付着し，黒色の文字の像（トナー像）が現像される。

スキャナードライバー
レーザー光を走査するためのスキャナー内のモーターの駆動制御装置。モーターの回転むらを0.005%以下にする性能をもっている。

感光ドラム駆動モーター
DCサーボモーターを使用して，感光ドラムの回転速度を高精度に制御している。

DC電源

高圧電源
静電気を発生するための電源。

A/Oモジュレーター
文字の像を構成する電気信号に対応した高周波信号で，ここに入射されるレーザー光をオンとオフの光信号に変換する。

レーザー発振器
感光ドラム面上に文字の像を書きこむための光源。ヘリウム・ネオンガスレーザーを使っている。

スキャナー
12面体のポリゴンミラーと，それを回転させるモーターからなる。レーザー光は，ポリゴンミラーで反射されて，感光ドラム面を走査していく。

トナーコレクター
感光ドラムに転写されなかった残留トナーを回収する。

オゾンフィルター
静電気を発生させたときに生じるオゾンを，ろ過して除く。

冷却ファン

レーザードライバー
レーザー発振器を発振させるための制御装置。

電位センサードライバー
感光ドラム面上に帯電させる静電気の量を制御している。

レーザー光の集光性が高解像度プリンタを生みだす

コンピュータからの出力データを文字に変換するプリンタには，さまざまな種類があるが，二つのタイプに大別される。一つは，タイプライタのように，紙面に活字などを機械的におしつけて印字するもので，もう一つは，非機械的に熱や電気，光，インクジェットを利用して印字するもの(ノンインパクト形)である。

ノンインパクト形プリンタでは，印字する文字の像は，ドット(画素)という微小な点の集まりで構成されていて，ドットのあり・なしを，それぞれの媒体にオン・オフの信号としてのせている。光を用いるときには，信号に応じて光を点滅させていく。したがって，単位面積当たりのドット数を多くすれば，解像度が高められるので，字体の複雑な漢字や，細いケイ線，図形の印刷も可能となる。こうしたことから現在では，ノンインパクト形プリンタが主流となりつつある。

レーザー光は，一つの波長をもった光なので，つねに周波数や位相が一定している。つまり，いろいろな波長や位相の光波からなる自然光や電灯の光とくらべると，非常に集光性がいい。したがって，容易に微小なスポットになり，ドットの大きさを小さくできるので，解像度が高くなる。このため，レーザービームプリンタは，漢字や図形を鮮明に印刷することができるのである。

データと書式を同時に印刷

プリンタの解像度はしかし，レーザー光の集光性だけでは決まらない。レーザー光を感光ドラム面に走査させるとき，その位置がずれないようにしなければならない。キヤノンLBP-8000では，12面体のポリゴンミラーを回転させて，光の入射角と反射角を変化させ，ドラム面を走査している。このミラーの表面に，少しでも凹凸があったり，傾きがあると，走査線の位置がずれてしまう。そこで，ポリゴンミラーの面精度は，ここで使われているヘリウム・ネオンガスレーザー光の波長0.633ミクロンの4分の1という高精度につくられている。

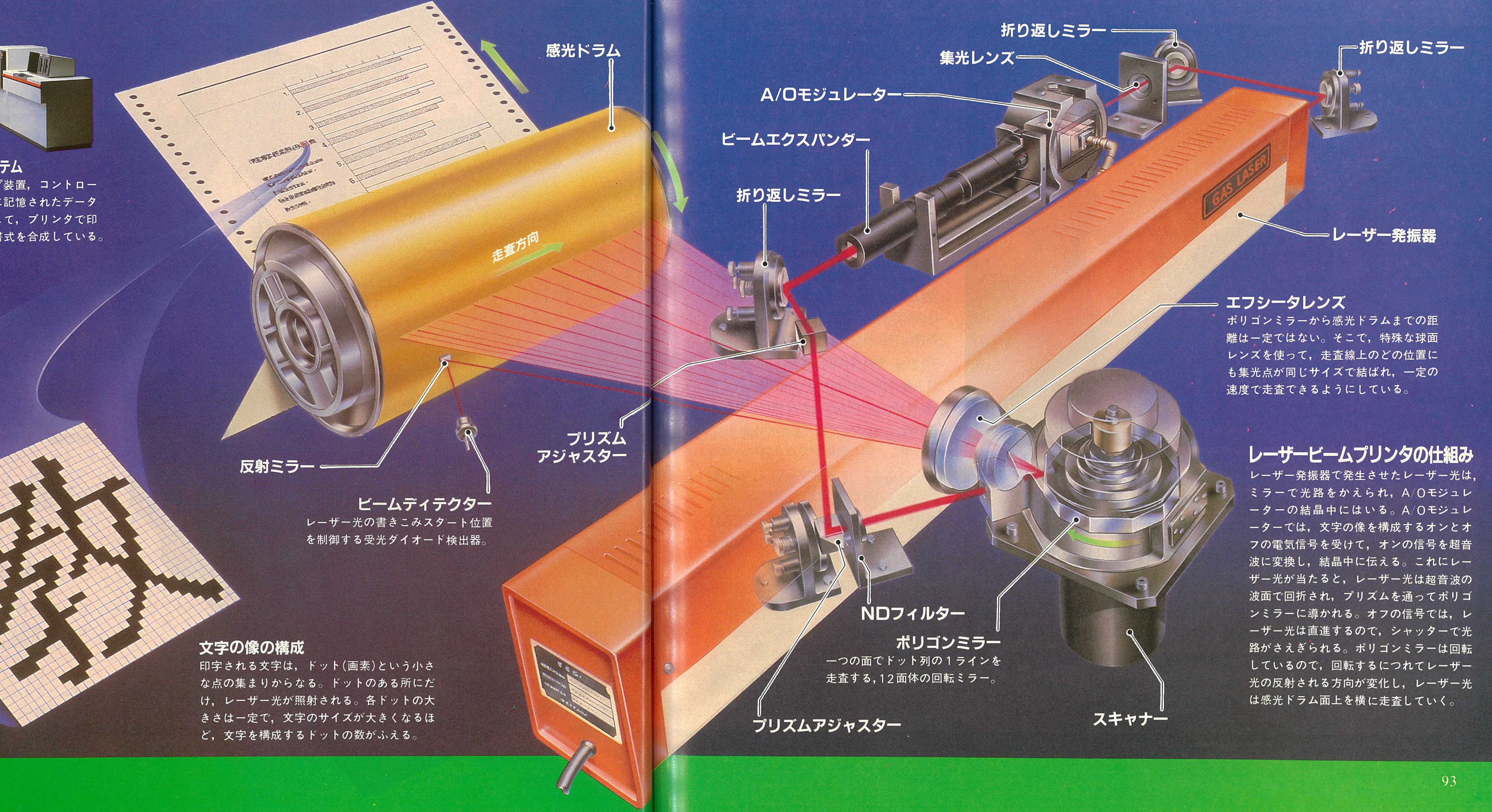
またポリゴンミラーは，1分間に1万回転以上の高速で回転するので，ぶれやすい。このときの傾斜角を5秒以内におさえて，走査線の位置を高精度で保っている。こうした技術が結合された結果，LBP-8000の解像度を印刷機のレベルにまで近づけたのである。しかも，データといっしょに，表のような書式を同時に印刷することができる。これは，書式を印刷した用紙を使う従来のプリンタより，その利用範囲が広がったことになる。

高速性を左右する感光材料

レーザー光はまた，高エネルギーの光なので，文字の像をつくるオン・オフの信号を短くしても，感光ドラムを感光させるのに十分なエネルギーを供給できる。これに，レーザー光の波長域での感度がよい感光ドラムを使えば，印字速度を速くすることができる。LBP-8000では，複写機の現像の原理を応用して，硫化カドミウムの光半導体を使用し，1分間に8000行の高速印字を実現している。



キヤノンLBP-8000のシステム
プリンタ(左)と，磁気テープ装置，コントローラーからなる。磁気テープに記憶されたデータを，コントローラーが解読して，プリンタで印字できる形に配列し直し，書式を合成している。

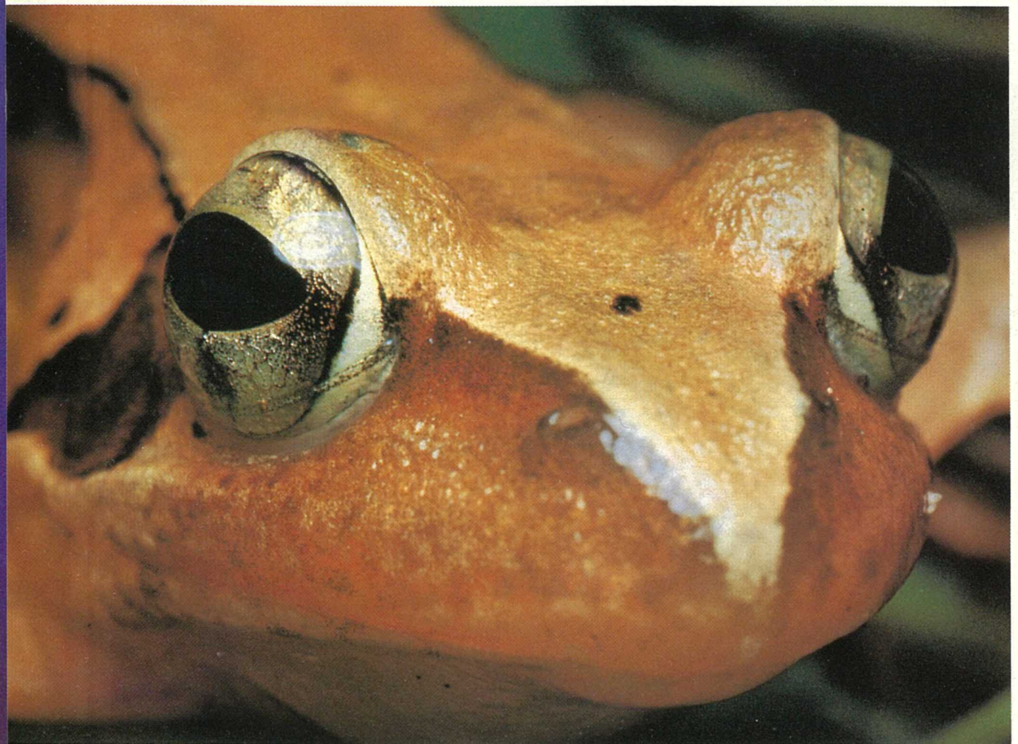


文字の像の構成
印字される文字は，ドット(画素)という小さな点の集まりからなる。ドットのある所にだけ，レーザー光が照射される。各ドットの大きさは一定で，文字のサイズが大きくなるほど，文字を構成するドットの数がふえる。

レーザービームプリンタの仕組み
レーザー発振器で発生させたレーザー光は，ミラーで光路をかえられ，A/Oモジュレーターの結晶中にはいる。A/Oモジュレーターでは，文字の像を構成するオンとオフの電気信号を受けて，オンの信号を超音波に変換し，結晶中に伝える。これにレーザー光が当たると，レーザー光は超音波の波面で回折され，プリズムを通ってポリゴンミラーに導かれる。オフの信号では，レーザー光は直進するので，シャッターで光路がさえぎられる。ポリゴンミラーは回転しているので，回転するにつれてレーザー光の反射される方向が変化し，レーザー光は感光ドラム面上を横に走査していく。

動物の四季——大野正男

谷津田の住人 ニホンアカガエル



ニホンアカガエルは，山のふもとや台地に入り組んだ谷津田で最も普通に見られる。

**2月。まだまだ寒さがきびしい。
だが，やわらかい日ざしを浴びたり，大地がしっとり雨水を含んだりすると，厚い冬の壁の向こう側に，ふと春の足音を聞いたような気になる。
こうした春の気配に誘いだされるのだろうか
アカガエルたちは冬眠を中断して，谷津田のたまり水に集まる。そうして2月のひとときも，すべてを忘れひたすらラブソングを歌い，産卵にいそしむ。**

2月の谷津田

風のない雨の夜，クァクァクァクァ……。ククククク……。どこかニワトリの声を思わせるかん高い連続音が聞こえてくる。産卵のために越冬場所を抜けでたニホンアカガエルが雌を呼ぶ声だ。ときどき，クーッというような短い声もまじる。雄に飛びつかれた別の雄が,「おれは雄だ。まちがえるな」という意味で鳴く鳴反射の声である。

夜が明けたら谷津田をみまわってみよう。台地に入り組んだ谷津田には，あちこちに水たまりがあるため，そこはアカガエルにとって絶好の産卵場だ。水深5〜12センチくらいの日当たりのいいたまり水に，いくつもの卵塊がみつかる。しかし，親ガエルの姿はあまり見かけられない。産卵を終えたカエルたちは，いそいそと越冬場所へもどってしまうからである。冬眠を中断されたアカガエルには，ほんとうの春が来るまで，ふたたび春眠という形の眠りが必要なのである。

アカガエルの産卵は一晩だけで終わるのだろうか。いやいやそうではない。産卵に適した気象条件が整うと，そのたびにククククク のラブソングがわきおこり，谷津田に産みつけられる卵塊の数がふえていく。東京付近では2月上旬（ときには1月下旬）から3月下旬まで，約2か月にわたり，だらだらと産卵がくりかえされる。

しかし，同じ個体がでたりはいったりするのではない。産卵するのはつねに新しい個体である。そして産卵時期が早いのは大型の個体に多く，小型のものは遅れる傾向がある。越冬にはいるのは大型のカエルほど早いので，産気づく順序もそれに従うのであろうか。それとも越冬に際して潜伏した場所の地温の変化が，それぞれの場所でことなるため，それが出現順序に影響をおよぼすのだろうか。しかし，このことについては，まだはっきりしたことはわかっていない。

不思議な黒い卵



産卵するヤマアカガエル。つがいの下には，発生の進んだ卵塊がみえる。

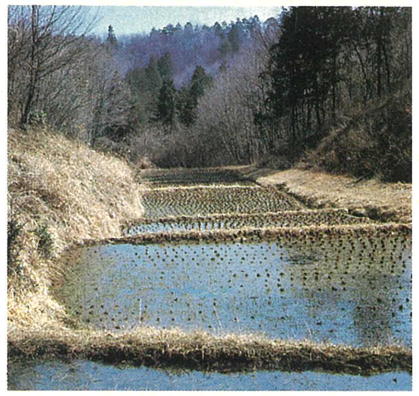
ニホンアカガエルの卵塊は直径10センチくらい，だ円形で，1000〜2000粒の卵の大集団である。手にとるとずっしり重い。産卵直後は30グラムくらいしかないが，やがてたっぷり水を吸い，150グラムくらいにまで重量が増すからである。

一つ一つの卵は，3層の寒天質の袋に包まれている。卵の本体は球状で，直径1.5〜2ミリ，カエルの卵としては中くらいの大きさといえるだろう。色は黒かっ色が普通であるが，まれに青みをおびる場合もある。

ところで，私たちは黒いカエルの卵をみても，それが当たり前だと思っている。ヒキガエルも，トノサマガエルも，カエルの卵は皆黒く，黒い卵になれているからなのであろう。カエルだけではない。イモリ，サンショウウオなど，ほかの両生類にも黒い卵を産む種類がみられる。しかし，両生類以外ではどうであろうか。

チョウザメのように，黒緑色の卵（キャビア）を産む動物もいるにはいるが，鳥類，爬虫類，魚類はいうまでもなく，昆虫，カニ，エビ，貝など無脊椎動物のほとんどのものは，すべて黄色系の卵を産む。そう考えてみると黒い卵は実にめずらしく，不思議な存在だといえる。

カエルの卵はなぜ黒いのだろうか。これは日を浴びる浅い水中に産卵されることと関係があると思う。太陽光線を直接受けると，細胞内の酵素などが破壊され，生理障害をおこす。カエルの卵でも，黒いのは上面の動物極側で，反対の植物極側は乳白色か，もし黒い場合でもその程度は弱い。これは，黒い色素が太陽光をしゃ断し，卵を，そして発生途中の胚を保護することに役立っているためだといえないだろうか。



谷津田はアカガエルの絶好の産卵場である。

泡の卵のうで周囲を包まれ，太陽光がしゃ断されるモリアオガエルの卵は，カエルのくせに黄白色の卵を産むが，これなどはその証拠の一つとなる。またタゴガエルも，落葉や石におおわれた暗い水中に灰色がかった白っぽい卵を産むが，やはりしゃ光の必要性がないことで，その理由が説明できよう。日ざしの強い夏，われわれの皮膚が真っ黒になるのも，この現象と無関係ではない。

しかし，アカガエルのように，まだ寒い季節に産卵される卵の場合，黒い色素はしゃ光以外にも役立っていそうに思われる。つまり，色素によって吸収された太陽熱が，胚を暖め，発生をうながすということなどがそれである。ニホンアカガエルの胚は，寒い時期に育つわりには高温に対する耐性が強く，33度Cくらいまで耐えられることが知られている。これは同じアカガエルの仲間でありながら，高温耐性が低く，25度Cどまりのタゴガエルと比較して大きなちがいである。

おそらく，タゴガエルでは直接日光にさらされることがないため，胚の温度が上がらず，高温適応の仕組みが不要なのであろう。それに対し，ニホンアカガエルのほうは，温度上昇の危険を計算に入れてまで，太陽光を利用しているということになるのではなかろうか。

失われる生息地

本州にいるタゴガエル，ヤマアカガエル，ニホンアカガエルなど主なアカガエル3種のうち，ニホンアカガエルは最も遅れて日本に渡来した種類だと考えられる。佐渡にはヤマアカガエルはいるのに，ニホンアカガエルが侵入していないことや，北から房総半島に侵入したニホンアカガエルが，まだ半島の東南部に広がっていないこと，また岩手県の北や青森県など本州北部にもニホンアカガエルがみられないことなど，その証拠としてあげられる。しかし，どこにでもいる，最も普通のアカガエルであったこのニホンアカガエルは，山のふもと，台地の谷津田など，平地に近い環境で生活していたためか，最近の宅地造成などでその生息地は次々に失われてしまった。

春に先がけてラブソングを聞かせてくれる愛らしいニホンアカガエル。私たちの身近な自然の中に，いつまでも生きつづけてもらいたいものである。

西日本の博物誌——金子厚男

秋吉台・秋芳洞に地層の内臓をみた



段々畑のように広がった秋芳洞のリムストーンプールは，「百枚皿」と名づけられている。

秋芳洞は“天下の奇勝”であるという。
日本でも最大級の鐘乳洞として古くから知られ
訪れる多くの観光客はその奇怪な景観にわれを忘れる。
石灰岩からなるカルスト台地である秋吉台では
毎年2月末に壮大な山焼きが行われ，これも人を集める。
地底と地上のこの二つの舞台は
自然の造物主がわれわれにちらりとみせる
“地層の内臓”なのである。

自然造形の妙

秋芳洞は山口県の中央部，美祢郡秋芳町にある。林に囲まれた山すそに，高さ24メートルの縦長の洞口がぽっかりと開いている。奥行き10キロメートルの地底迷路は，ここからはじまる。観光コースは，そのうちのわずか1キロメートルだが，自然のつくりだした造形の妙は，私たちを十分に感嘆させてくれる。

千変万化の地底景観は，石灰岩とそれを浸食する地下水が，長い年月をかけてつくりだしたものである。炭酸ガスを含む地下水は，炭酸カルシウムを主成分とする石灰岩に働きかけ，可溶性の重炭酸カルシウムを生じ，石灰岩を溶かしてしまうのである。石灰岩の空洞はこうしてできるのだ。空洞内の天井からしたたる重炭酸カルシウムの水滴は，空気にふれるとふたたび炭酸カルシウムにかわってしまう。それが長年の間につらなって，つらら状にぶら下がったものが鐘乳石である。また，水滴の落ちる洞床に盛り上がったものは石筍とよばれる。そして鐘乳石と石筍がつながると石柱となる。

このように原理は簡単だが，壮大な時の流れが生んだそれらの多彩な変化は，まさに自然の妙というべきものである。「傘づくし」，「青天井」，「百枚皿」，「黄金柱」といったぴったりの名称がつけられ，観光客はそれにも感心させられてしまうのである。

洞穴探検の舞台

洞内の「黄金柱」付近からエレベーターで80メートル上がると，秋吉台にでる。なだらかな起伏のこのカルスト(石灰岩)台地をながめると，無数の石灰岩がまるで羊の群れのように，早春の日ざしに白く輝いている。

東西30キロメートル，南北15キロメートルのこの台地には，あちこちにすりばち状のドリーネ（陥没地）があり，洞穴がある。また，垂直に深く落ちこんでいる“地バス”とよばれる縦穴もある。この地バスは，現在267個所わかっているが，かつては悲惨な事故も多かったようだ。この一帯が陸軍の演習地であったころ，夜間演習で偵察にでた兵士が行方不明になったり，士官候補生が馬もろとも失そうした事件もあった。おそらく地バスへ落ちたのだろう。調査の進んだ現在では考えられないことである。

この台地の真下に“地底王国”があることを思うとき，台地の風景は平面から立体へと想像をかき立てていく。地球内部への入口といえば，大げさだろうか。洞穴探検（ケービング）の思想は，内部へ向かおうとする志向と通じるのかもしれない。美祢市に「こうもり会」というケービング・グループがあり，秋吉台地の洞穴を丹念に調べている。会を主宰する広中健郎氏は，昭和35年，秋芳洞の行き止まりから奈落のような支道へ降りて，さらに奥を探検している。

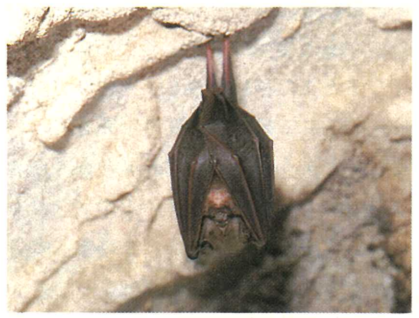
なお，「こうもり会」の名称が示すように，現在秋芳洞内には5種，約2万匹のコウモリがすんでいる。しかし，化石から推測すると，1万年前には20種もいたようである。

逆転した化石層

化石といえば，地殻変動の本質にせまる仮説を発見し，まだ幼かった地質学に輝きをあたえた「逆転構造論」は，この秋吉台の化石層から生まれたものだった。大正10年のことである。この説を打ちだしたのは，当時東京帝国大学地質学科の学生であった小沢儀明氏である。



ドリーネに降り積もった前日の雪が，午後の日ざしを浴びて解けはじめる。



秋芳洞の中で冬眠するキクガシラコウモリ

小沢氏は，中学生のころダーウィンの進化論を読み，地質学会にも所属していた。彼は，古い化石層がきれいなままで数多く残っている秋吉台に興味をもち，卒論のテーマにここを選んだ。そして書き上げたのが「逆転構造論」で，学位論文ともなった。彼は秋吉台で何をみたのだろうか。

台地のなかの帰水地区には，直径1.5キロメートル，上下差200メートルのドリーネがある。小沢氏はここを調査中に，古いフズリナの化石層の下に新しい化石層が配列しているのを発見したのである。フズリナは原生動物の代表的な化石有孔虫だが，普通に堆積していれば，この配列は逆でなければならない。

化石層の配列の逆転は，地層の逆転を意味するのではないか。大きな地殻変動を受けたとき地層が布団をたたむように，南から北へと褶曲して逆転したためではないか。小沢氏は，地層の断面にあらわれた配列から，地質構造の内奥をこのように“推理”したのである。

日本列島の成因も

「逆転構造論」は大きな発見であったが，当時の日本の学会で認められるには，あまりに新奇すぎた。しかし，ちょうど同じころ，ドイツでもアルプス山脈を舞台に逆転発想論が唱えられていたのである。まもなくその論文が日本に届き，小沢論文もようやく証明されることになった。彼は招かれてアメリカ，ヨーロッパへの講演旅行に出かけたが，帰国の途中，香港で客死した。30歳の若さであった。

その後の研究は，この小沢学説をふまえて進められた。日本列島の成因については，環太平洋最大の造山運動として，北からの逆転による秋吉造山運動を提唱する説や，化石の進化学的研究と分布状況から変動は二度あったという解釈，あるいは逆転否定説とさまざまであった。しかし，かつて秋吉台科学博物館に勤めていた太田正道博士は，地表調査やボーリングによる実験地質学的方法で，小沢学説の精度を高めた。いずれにせよ，秋吉台は地殻を運動と時間でとらえる最初の舞台となったのである。

昭和27年には秋芳洞が，つづいて39年には秋吉台が特別天然記念物に指定された。指定された1384ヘクタールのなかには，観光以外の資源が数多く眠っている。現地に町立の科学博物館が設立されていることは，フィールド学的にもうれしいことである。

根釧原野から――林田恒夫

雪の原野に生きるエゾシカ



雪の原野のなか，木立の陰にたたずむ雄ジカの姿をタンチョウが発見した。

2月。北海道は厳冬のまっただ中である。北にすむ動物たちは，このきびしい環境のなかで春を待ちながら，それぞれの方法で生き抜いていく。たとえば，角をもった森の住人エゾシカたちは，えさを求めてあちこち放浪しながら冬を越すのである。今回はこのエゾシカにスポットを当てみごとな角がどのような役割をもっているのかその生態を探ってみよう。

厳寒の動物たち

2月といえば，本州ではそろそろ梅の花の便りが聞かれる時期である。しかし北海道の原野では，まだしんしんと雪が降り，ひゅうひゅうとブリザードが荒れ狂い，ぴしぴしと台地がしばれる厳冬のまっただ中である。そこにすむ動物たちは，どのようにして冬をすごしているのだろうか。

まず寒さからの逃避型をみるとヒグマやシマリスがこれにあてはまる。日本の陸上動物中最大で体重が400キロもあるヒグマと，体重わずか90グラムのシマリスが両方とも冬眠して冬を越すのだ。逆に活動型は，キタキツネやエゾタヌキである。ともにイヌ科であるが，この時期が恋の季節となるため，寒さをものともせず相手を求めて活動する。また，エゾノウサギとエゾリスは孤独型である。それぞれウサギ科とリス科であるが，単独で生活するという点で共通している。巣ごもりしてすごす隠遁型もいる。大陸の遺存種といわれるナキウサギがそうなのだが，近縁のエゾノウサギとちがって，冬の間野外活動はいっさいせず，巣の中で蓄えたものを食べながら暮らす。このように，北海道の動物たちは，あるものは積極的に，あるものは消極的な方法で，マイナス20度Cを超える日々を生き抜いていくのである。

エゾシカの受難

エゾシカはこれらとはまたちがった，さしずめ放浪型ともいえる方法で冬を越す。群れでえさを求めて移動し，えさがみつかると食べつくすまでとどまり，なくなるとまた移動するというやり方だ。しかしこれでは気象異変の影響をもろに受けてしまう。かつてアイヌの人々がユク(獲物)とよぶほど多くいたエゾシカも，いつしか絶滅の危機に立たされることになったのである。

それは明治12年の出来事である。1月から2月にかけて，日高・十勝地方に大雪が降った。この地方は太平洋に面しているため，冬でも比較的雪が少ない。そのため，雪の多い北部，中央部のシカがえさを求めて次々に集まり，大群となって暮らしていた。そこを豪雪が直撃したのだ。やがてえさがとれなくなったシカに餓死がはじまり，日高の鵡川地区では7万5000頭が死に，十勝川支流の利別川などは，数えきれないほどの死体で川が埋めつくされた。

この明治12年を境に，記録の上でもエゾシカの数が激減していることがわかる。開拓使事業報告書によると，明治8年には約13万頭が捕獲されているが，13年になると約2800頭に減っている。しかしその後も減りつづけたので，明治23年にはついに全面禁猟となったのである。

長い間の禁猟と，天敵のエゾオオカミの絶滅で，エゾシカの数はまたふえはじめた。5年前からはあちこちに姿をみせはじめ，一部地域では農業被害もでたため，猟期が設けられて狩猟が認められるまでになった。捕獲数も昭和50年には，1500頭に上っている。



かつて大雪のために激減したエゾシカは，近年ようやくふえはじめてきた。

ツルたちの威嚇

昨年の2月のことだ。私はタンチョウの撮影に，阿寒町のタンチョウ観察センターに行った。午後3時，60羽の野生のタンチョウが夕日を浴びて，えさのトウモロコシをさかんに食べていた。すると急に，端のほうにいたタンチョウが，体を少し前に傾けて警戒ポーズをとり，南のほうを注視した。他のツルたちも次々と注視しはじめ，群れ全体が同じ行動をとったのだ。ツルたちの近くに何か異常がおこったようである。

やがて1羽のツルがカォーカォーとかん高い警戒の声を上げると，数羽が同じように鳴きだした。突然半分近くのツルが南に向かって飛び立ち，約400メートル先の川原に降りて警戒音をだしている。私もすぐセンターの2階にかけ上がり，双眼鏡でのぞいてみた。ツルのいる川原の対岸には，りっぱな角をもった1頭の雄ジカが立っていたのだ。まもなく残りのツルたちも飛んできて合流し，列になって警戒音を発している。ツルのモビング（疑似攻撃）である。

ツルの気管はトランペットのようになっているため，拡声されたかん高い声がでる。まさに“ツルの一声”である。雄ジカはこの声に威圧されたのか，それとも多勢に無勢と感じたのか，ときどき振り返りながら後方の丘陵の林へ立ち去った。その姿は，敗戦の将が虚勢を張りながら退却するかのように私には映った。

シカの角の秘密

雄エゾシカは日本産のシカのうち最大で，体高1メートル，体重100キロ，角の長さは80センチもある。しかしこのような森の王者の風格はあっても，ツルたちのモビングで退散したように，りっぱな角は外敵に対する武器としては役に立たないのである。

シカの角は，毎年4～5月に根もとからもげ落ち，そのあと10月ごろまでの角は袋角とよばれ，やわらかい皮膚でおおわれている。これはとても武器になるような代物ではない。袋角の中にはたくさんの血管が集まっており，血液がどんどん石灰分を運んでくる。その石灰分が沈着してしだいに骨質の角を形成していく。

秋に新しい角が内側にできると，上皮を木にこすりつけて落としてしまう。袋角の雄ジカは気弱で，雌とは別々に生活しているが，角が新しくなると，ハレムをつくって雌の群れに君臨する。

角は3～4本の枝からなっている。普通は2～3歳で1尖，4歳で2尖，5歳で3尖，6歳で4尖となりそれ以上はふえない。なお雌には角はない。

外敵には無力な角も，同種間では武器として機能する。新しい角ができると同時に発情期にはいる雄ジカは，雌の群れを獲得するために闘争を行う。まず，頭を上に突きだし，のどからあごにかけて発達したたてがみを誇示する，ヘッドアップ・ディスプレイとよばれる威嚇姿勢をとる。相手が引かないと，頭を下げて角と角とをはげしく突き合わせておし合う。そのときにたじろいで，からみ合っている角がはずれたりすると，相手の体に刺さってしまい，しばしば致命傷になることが観察されている。

こうなると，角はりっぱな武器である。角はまた，雄の強さをあらわすシンボルとしての働きもある。りっぱな角をもつ雄は年齢に関係なく優位に立ち，たくさんの雌をひきつれている。このようにシカの世界では，角は武器やシンボルとしてたいせつな存在なのである。



北緯39度8分に立ち並ぶ緯度観測所の天文観測機器群。手前のドームには浮遊天頂儀がおさめられている。左手奥にみえる鉄筋3階建ての建物が庁舎本館。

地球の回転に秘められたなぞ

緯度観測所を訪ねて

佐藤壽治

現在の所長，坪川博士の考案による自動アストロラーブ。光電管によって高度60度の星の通過時刻を検出し，緯度と経度を決める。

休みなく回転をつづける地球。
一見規則的と思われる地球の回転運動も，
くわしく調べると非常に複雑である。
月や太陽から受ける引力の影響や，地殻や大気，
海洋などでおこる地球自身の変動が，
地球の回転に微妙な変化をあたえるためである。
地球の回転のなぞ解きは，
「地球そのものが何であるか」という
古くからもたれている疑問に答えることである。
明治32年に創設され，以来83年間
休みなく地球の回転を追いつづけてきた
文部省所轄の緯度観測所は，地球そのものを
みつめてきた地球総合診断所ともいえる
科学研究機関である。

天を観測し，その実は地球をみつづけてきた83年の歴史。

緯度観測所は，東北新幹線の開通でブームをよんだみちのく岩手県，盛岡市の南に位置する水沢市にある。水沢市は，近くを北上川が流れ，古くは802年に坂上田村麻呂が，アイヌ支配の最前線として胆沢城を築いた土地である。また幕末には，蛮社の獄で追われた蘭学者の高野長英や，明治政府の政治家後藤新平を生んだ歴史の町，偉人の町でもある。

東北新幹線を一ノ関で乗りかえ，国鉄水沢駅におり町の雰囲気に触れたとき全体に古い歴史が漂っていた。これから訪れる緯度観測所も，そうした歴史にとけこみ，地味で裏方的な研究をしているところだろうと，私は勝手な思いこみをしてしまった。

駅から南西に向かって約1.5キロ，町の中心から天文台通りを経て，星ヶ丘町にある緯度観測所に着く。門をはいると，札幌の時計台を思わせる木造の建物がある。それを背に，ブロンズ像が南を向いてすえられていた。台座には，初代緯度観測所所長である木村栄先生の名がきざまれていた。

緯度観測所に着いてすぐ，庶務課の山根課長から，観測所の概要を説明していただいた。

「緯度観測所は，これまでの83年間，緯度観測を中心に，地球の回転を研究しつづけています。現在は，天文観測研究部，地球物理観測研究部，極運動研究部の三つの研究体制で，所長以下，職員総数57名の研究所です」

木村初代緯度観測所所長のブロンズ像のうしろの木造の建物は，1899年（明治32年）に建てられた旧館で，現在は木村記念館となって一般の見学者に開放されている。その西側にもう一棟，木造の建物が残されている。1921年（大正10年）に建てられた旧本館である。こちらは主に講堂として使われている。1967年（昭和42年）に建てられた鉄筋3階建てのモダンな新庁舎と，この二つの木造の建物は，そのまま83年の観測所の歴史を物語っていた。

山根課長の説明を受けてから，見学者の理解のためにつくられた緯度観測所の研究内容を紹介したビデオテープを，旧本館の講堂でみせていただいた。それをみているうちに，どうも自分はとんでもない先入観をもって，この緯度観測所にやってきてしまったことをさとった。

緯度観測は，地球の内部構造を調べる手段となった。

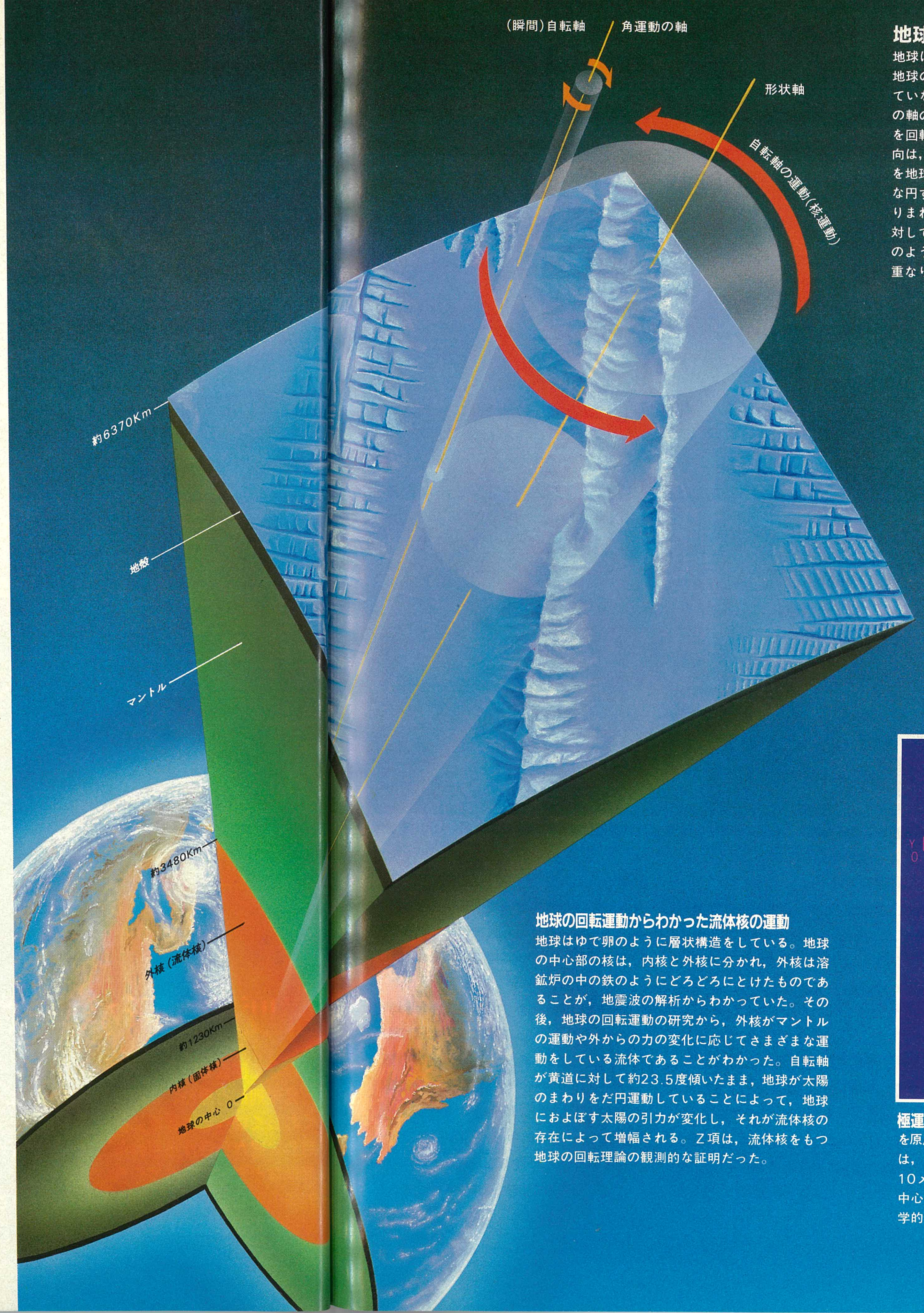
「緯度観測とは，地球の回転のふらつきによって生じる緯度の変化を調べることを目的としてはじめられた国際共同観測事業です。緯度の変化を調べるために，ずっと星の位置観測をしてきました」と私たち取材班を迎えてくださった角田忠一天文観測研究部長，細山謙之輔地球物理観測研究部長，若生康二郎極運動研究部長の三先生が，緯度観測について説明してくださった。話によると，最初，緯度観測は短期間の観測で十分と考えられ，1899年から5年間の期限つきではじめられた事業だった。そして名称も臨時緯度観測所としてのスタートだった。

「ところが観測をはじめてみると，緯度変化は短期間で解明されるような単純な現象ではないことがわかり，継続的な観測体制がとられ，今日に至っています」

緯度観測は，単純なことではなかった。なぜなのだろうか。その解答は，緯度変化なるものが，そもそもなぜおこるのかを知ることにある。

緯度変化を理解するために3人の先生方から受けた説明を要約するとこうである。月や太陽などの天体から受ける引力の影響，地震や地球内部の変動などの要因が，すべて複合され地球の回転が“よろめき”をおこす。すなわち，地球の回転（自転）の軸が，地球の形から決まる形状軸と一致しなくなる。そのために，観測すると観測所の緯度が変化するのである。

こうしておこる緯度変化は，周期的な

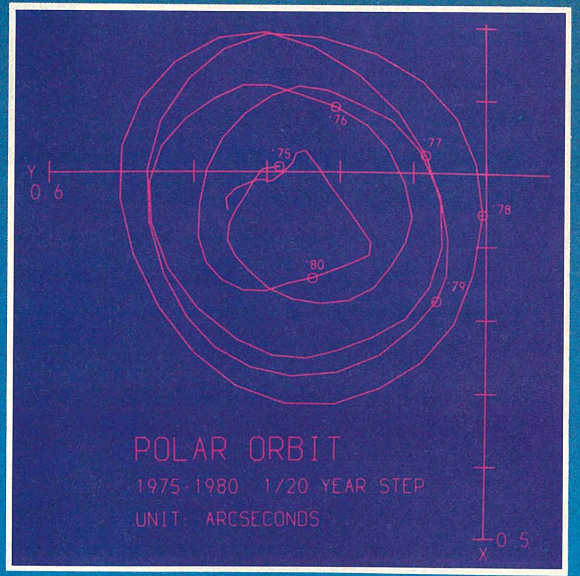


地球の極運動

地球は完全な球形ではなく，扁平なだ円体に近い形をしている。地球の自転軸は，地球の形から決まる形状軸とは完全に一致していない。自転軸は瞬間自転軸とよばれ，地球の回転角運動量の軸のまわりに回転し，同時に形状軸も角運動量の軸のまわりを回転している(地球の揺動)。角運動量の軸の空間に対する方向は，太陽や月の引力の作用がなければ変化しない。この運動を地球上の観測者からみたのが極運動である。この場合，大きな円すいの内側を，小さな円すいが1日1回すべらずにころがりまわるようにみえる。二つの円すいの接点が大きな円すいに対して描く軌跡が極運動である。実際の極運動は，右下の写真のように1.2年周期運動(チャンドラー運動)と1年周期運動の重なり合った，ほぼ6年周期の複雑な運動になっている。

地球の回転運動からわかった流体核の運動

地球はゆで卵のように層状構造をしている。地球の中心部の核は，内核と外核に分かれ，外核は溶鉱炉の中の鉄のようにどろどろにとけたものであることが，地震波の解析からわかっていた。その後，地球の回転運動の研究から，外核がマントルの運動や外からの力の変化に応じてさまざまな運動をしている流体であることがわかった。自転軸が黄道に対して約23.5度傾いたまま，地球が太陽のまわりをだ円運動していることによって，地球におよぼす太陽の引力が変化し，それが流体核の存在によって増幅される。Z項は，流体核をもつ地球の回転理論の観測的な証明だった。



極運動の北極軌道図　1900～1906年の平均の自転軸の位置を原点として，1975～1981年の自転軸が描いた軌道。0.1秒は，地表で約3メートルに当たり，自転軸は，この期間に約10メートル四方の範囲を運動している。原点と極運動の平均中心のずれは，平均極の永年移動とよばれ，大陸移動の天文学的証拠とされている。図中の数字は西暦年を示す。

ものであろう。そうならば短期間の観測で事は解決すると、当時のだれもが考えていた。しかし、こうした予測は、観測がはじまると完全に裏切られてしまった。

地球の回転のよろめきは、緯度変化ばかりではなく、経度変化、自転速度変化なども同時にひきおこしている。しかし、観測事業のスタート時点では、緯度変化の観測が主な目的で、緯度観測所という名称になったという。

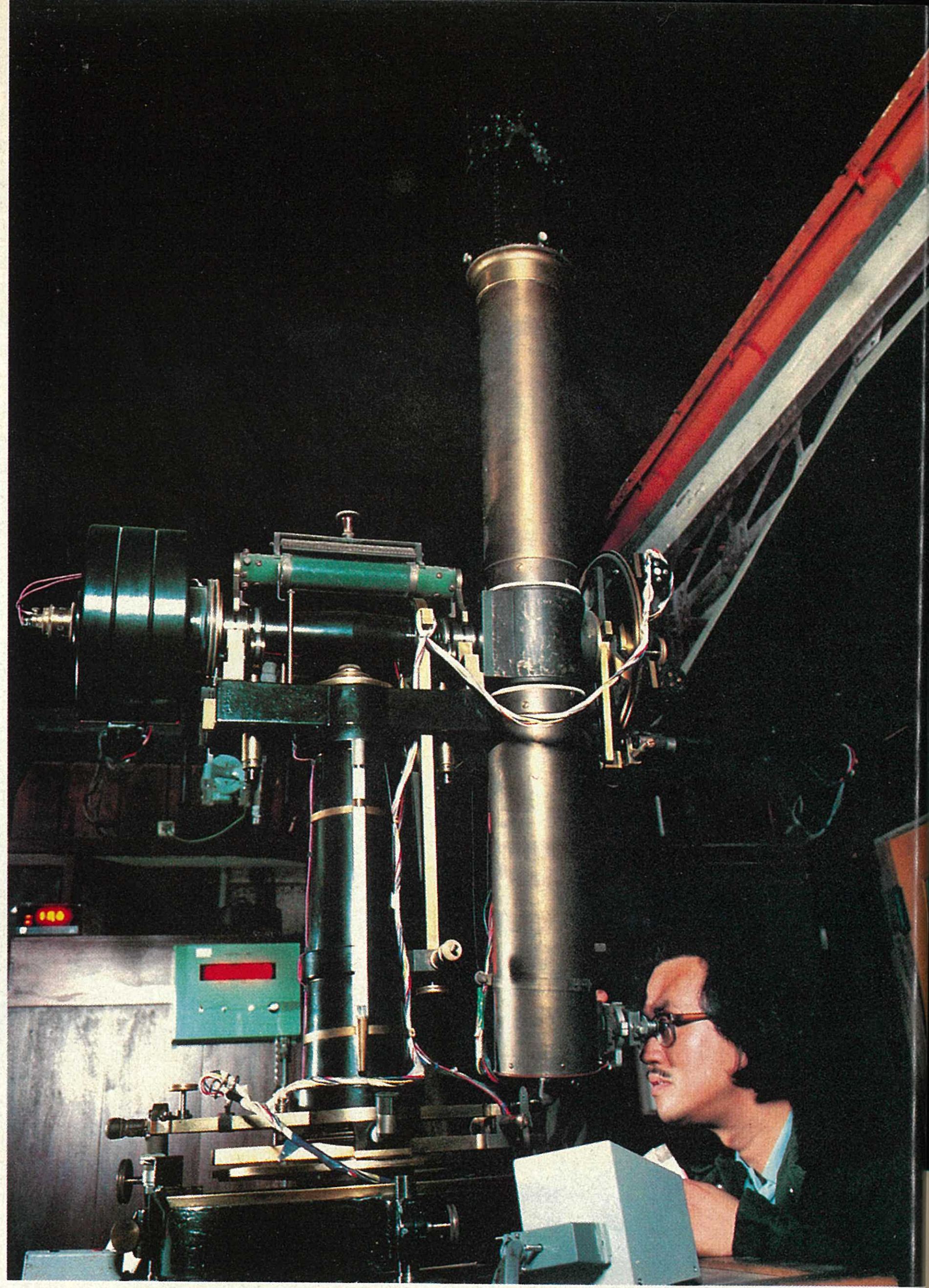
現在では、地球の回転のよろめきの観測は南北の極の不規則な運動としてまとめられるので、緯度観測とはいわず"極運動"の観測といわれている。

地球は剛体ではない。剛体とすると観測値が説明できない。

地球がよろめき運動をしていること、すなわち地球に極運動があることは、18世紀中ごろスイスのオイラーという数学者によって予言されていた。オイラーの考えでは、地球の形から決まる形状軸のまわりを、自転軸が304日の周期で規則的に変化する。

ところが、1891年に実際に観測されたのは、428日という周期の極運動だった。この周期を発見したのは、アメリカのチャンドラーである。その業績に対して、現在極運動の428日周期をチャンドラー周期とよんでいる。極運動の観測をつづけてみると、極運動の成分は一つだけではなく、1年周期の運動や平均極の永年変化などが重なり合った複雑な運動をしていることがわかってきた。問題は一挙に複雑になってきた。

理論と観測値が合わない。その後の研究で、オイラーが地球をどんな力が加わっても形が変化しない剛体であると考えたことに誤りがあったことがわかってきた。地球は剛体ではない。そのためオイラーの予言周期とちがうチャンドラー周期をもつのである。いったい地球の内部は、どのような構造になっているのだろうか。ここに至って、緯度観測つまり極運動の観測の目的に、重要な変革がもたらされることになった。



眼視天頂儀。位置が定まった星の子午線通過時と平均天頂距離から緯度を求める。1899年設置。

地球の回転のよろめきは、主に地球の内部構造の反映である。極運動の観測とは、実は地球の内部変動の観測であり、すなわち地球の内部構造を知る手がかりなのである。

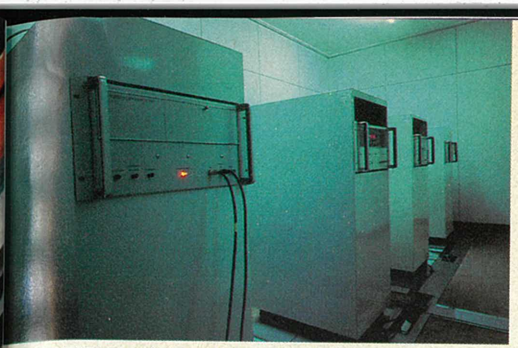
世界で最初に地球中心核をとらえた木村初代観測所所長

ここ水沢で緯度観測がはじまって、わずか3年目の1902年、観測所では地球がどんなふるまいをするかをみていた。その観測者は、初代の観測所所長である木村栄博士である。彼は、極運動の変化量を計算し、当時の地球の内部構造モデルからはまったく考えられない未知の変化量を発見した。その結果はＺ項とよばれることになった。

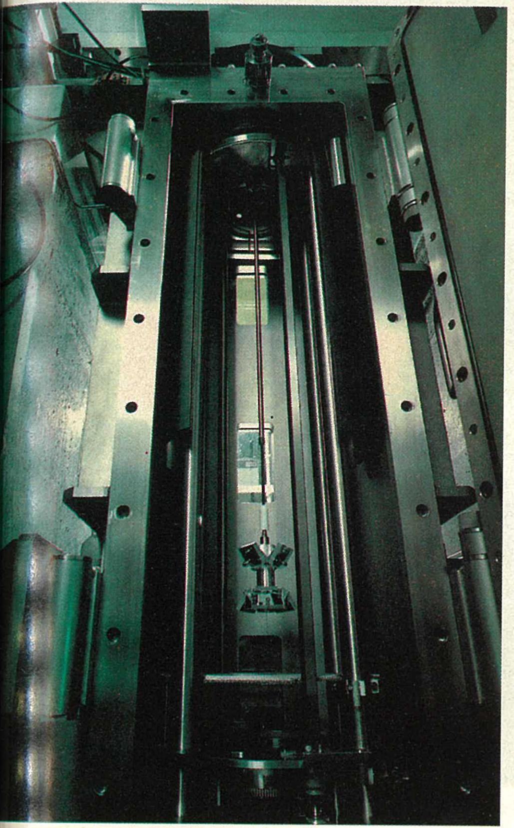
Ｚ項は、角度にして約0.04秒（1秒角は3600分の1度）の振幅で1年周期でおこる周期的な運動だった。この地球の極運動の未知の周期の発見は、その後地球の内部構造の解明の足がかりとなるものであったが、当時は十分な情報がなくその作業はなかなか進まなかった。

こうした緯度観測の結果が刺激となって、地球は剛体ではなく中心から物質密度がちがう層構造をしたものと考えて、さまざまな新しい地球のモデルづくりがはじめられたのは、1940年代以降のことである。理論は、観測値をうまく説明しなければならない。理論値と観測値がうまくかみ合うモデルをつくり、さらにそのモデルから各データを見直して真理を追求していくのが科学的立場である。

1955年から66年までの12年間にわたるＺ項を解析し、地球の中心に流体（液体のように流れる物質）の核があるとするとうまくＺ項の観測値を説明できることを、現在の極運動研究部長である若生先生が示した。このことで地球の内部構造モデルは、理論的に完成に近づいたことになった。



観測所の生命線，4台のセシウム原子時計



重力絶対測定装置。写真中央のキューブ・コーナーをゴムひもによって鉛直上方に投げ上げ，自由上昇と自由落下によって上方と下方の二つの位置を通過したときの時間を光波干渉法で精密に測定し，重力の絶対値を，地上重力値の10億分の1まで測定する。

Ｚ項の発見者木村博士は、世界中で最初に地球の中心核のふるまいをみていたのだった。こうして水沢の緯度観測所では、世界に先がけて地球の中心の構造をみすえる研究が行われ、世界の極運動観測をリードしてきた。しかも観測所開設以来、3万日を超す中断のない観測を誇っているのは、世界中でここ水沢だけである。

北緯39度8分の線上に立ち並ぶ数々の観測機器群

地球の回転のふらつき、すなわち極運動を観測することは、生命体のように休みなく活動しつづける地球の一挙手一投足を把握することである。大気圧の変動、海流、地球内部でおこる地震、マントル対流と大陸移動、地下水の変化も地球の回転にふらつきをあたえる要因である。これらの数々の要因のすべてが、この緯度観測所での観測対象となっている。

この点で、緯度観測所は、地球を対象とした総合科学センターであり、地球総合診断所ともいえるだろう。

観測機器のあるものは天の星をにらみ、あるものは地下の変動をにらんでいる。地球を診断するためになぜ天の星を観測するのか。その理由は簡単である。天の星には非常に精度よく位置が決められている星がいくつかある。星は遠くにあって動かない。観測した結果、もしその星の位置が決まった位置からずれていたならば、それは地球がよろめいたせいであると考えるのである。そこで、世界中の観測所で同じ星の南中時刻や高度を測定し、それから地球の緯度や経度を割りだすのである。

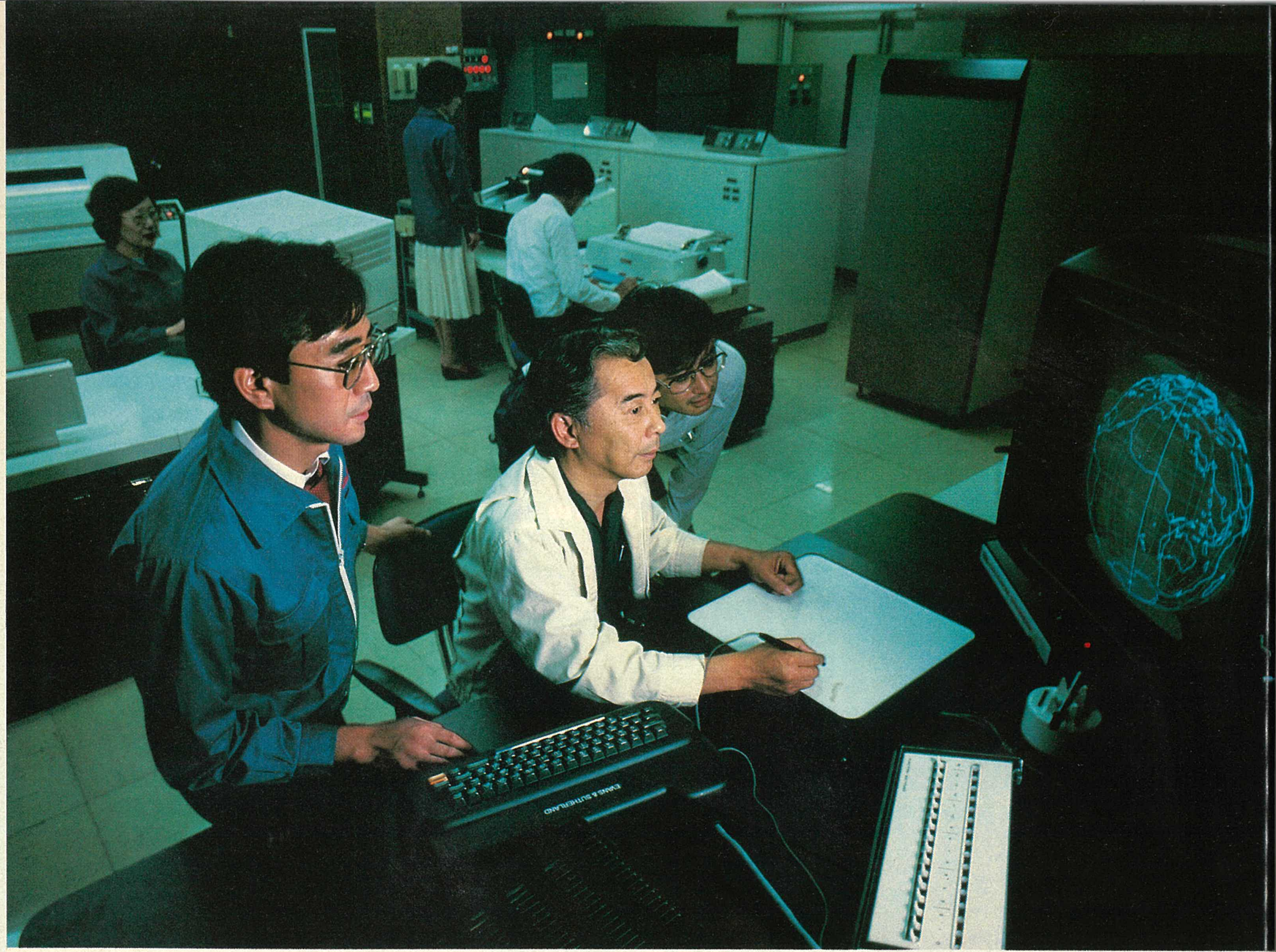
地球を診断するために使われている眼視天頂儀は、緯度観測事業を提唱した国際測地学協会が採用したものである。そのほかに、写真天頂筒、アストロラーブなどの天をにらんでいる観測機器は、国際協定のもとに北緯39度8分の線上に立ち並んでいる。これら天をにらむ観測機器のほかに、地球の極運動をおこさせる要因となる地表と地下の変動を調べるために気象観測機器、重力計、地震計なども設置されている。

さらに、39度8分の線の南側に強力な新メンバーが加わった。1977年に完成した重力絶対測定装置である。この装置は、自由落下する物体に働く加速度から、重力の絶対値を測定するものである。今までは相対量としてしか測定できなかった重力値は、今や絶対値として求まり、地下のマントル対流や大陸移動による微妙な重力値の変化を見い出すことができるようになりつつある。

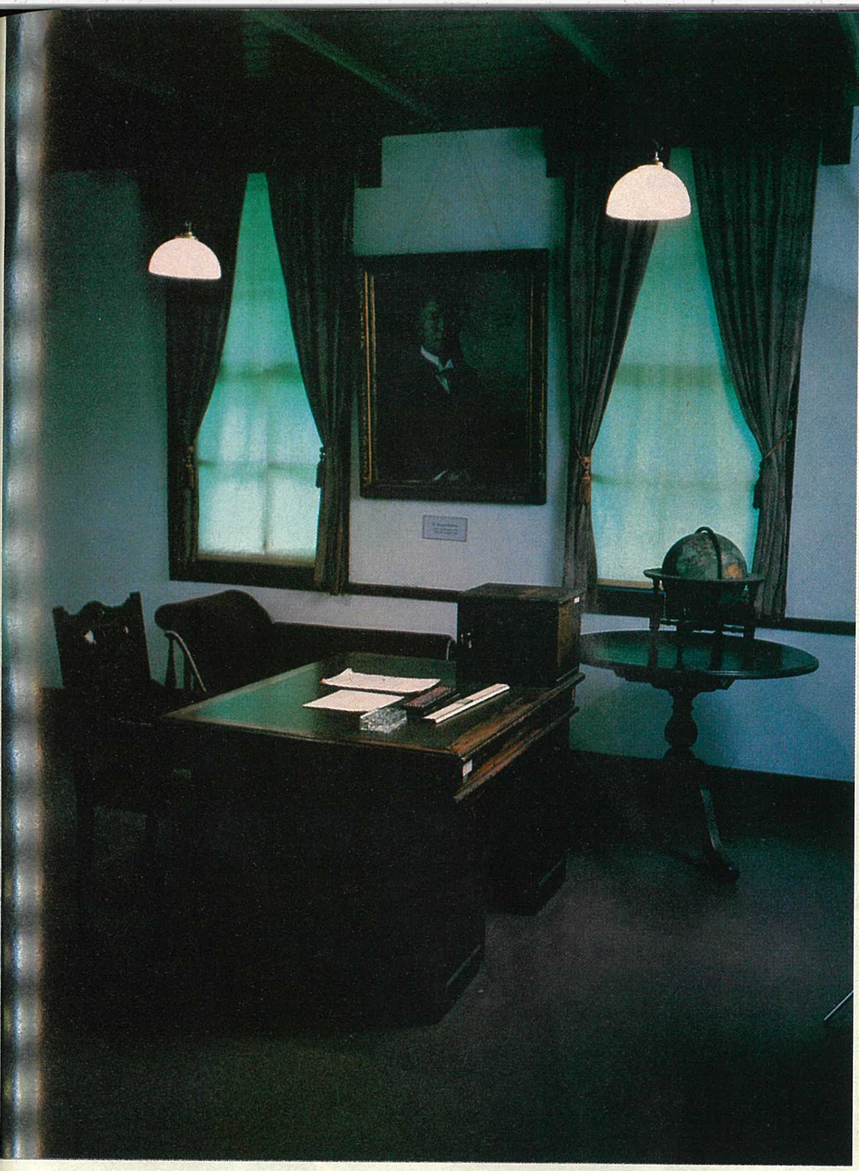
そのほかに庁舎本館には、人工衛星の発する電波を受信し、その軌道を利用して緯度や経度を決定する人工衛星ドップラー追跡装置や、各観測機器に正確な時刻を供給するセシウム原子時計が設置されている。緯度観測所で行われている観測にとって時計は生命線である。同時刻、あるいははっきりと時刻がわからない観測値は、他の観測値と比較することができないからである。

また、地球の極運動と地球の変形（月や太陽の引力によっておこる地球潮汐のこと）との関係を調べるために、水沢市の東方約20キロの江刺市阿原山に、江刺地球潮汐観測施設がある。この施設は、無人化されており、データは自動的に記録され水沢に送られるようになっている。

天の星をにらみ、地球の内部をにらむこれらの観測体制を知れば知るほど、緯度観測が地球の総合診断所としての役目を果たしていることがわかる。各観測機器の観測データの解析は、庁舎本館にある計算機室で行われている。計算機室には立体図形ディスプレイ装置があり、数値解析ばかりでなく、図形解析も可能になっている。夜の暗くて静かな観測棟とは対照的に、明るい計算機室は、軽やかにひびくキーボードとプリンタの音と研



観測データは計算機室に集められ，大型コンピュータによって処理される。立体図形ディスプレイ装置で，地球の極運動が再現される。



木村記念館には，木村栄博士がZ項を発見した研究室が保存されている。



国際極運動観測事業（IPMS）中央局



83年の休みない観測の歴史を語る資料庫

究者の熱気で満たされていた。

観測精度の向上に，研究者のあくなき真理への挑戦をみる。

現在とられているような星の位置観測から，地球上の緯度変化を調べる方法では，一晩の精度は角度にして100分の2秒ほどである。これは地表における緯度のずれでいうと，約60センチである。いいかえれば，星の光学観測だけでは，地表で60センチ以下の地球のよろめきは検出できないということである。もしこの精度が1000分の1秒と1けた向上すると地表で3センチの位置のずれが検出できることになる。研究者の立場では，もちろん高い精度をねらっている。それだけ真理に肉薄することになるからである。

また，地球の極運動に大きな影響をあたえる地殻変動を，重力の変化で調べる重力絶対測定装置も，より高い精度の重力測定を目指している。普通地球上の物体には，毎秒毎秒980センチだけ加速するように重力が働いている。重力が変動すれば，当然物体に働く加速度も変化する。重力絶対測定装置では，地上の重力値の10億分の1の大きさまで測定できるようになろうとしている。

こうした各観測機器の精度向上に，研究者の真理へのあくなき挑戦をみる思いがした。また，精度向上と同時にたいせつなことは，横のつながり，つまり国際協力による極運動観測事業全体の精度向上である。その意味でも，ここ緯度観測所は重要な働きをしている。

1899年にはじまった国際緯度観測事業（ILS）は，1962年に拡大改組され，現在まで国際極運動観測事業（IPMS）としてひきつがれている。その中央局が，ここ水沢の緯度観測所に置かれているのである。この国際協力がはじまった当初は，世界中の18か国の30の観測所がメンバーだったが，現在その数は2倍以上にふえて25か国69観測所になっている。

国際極運動観測事業中央局の局長を務めておられる横山紘一先生は，「現在とられている地球回転の観測方法を，いっそう科学面，技術面，経済面などのさまざまな側面から相互比較して最適の観測体制を確立し，最も効果的な国際協力センターの編成を目指したい」と話された。こうしためざましい観測精度の向上と緊密な国際協力も，1899年以来行われてきたたゆまぬ観測の上に築かれた成果なのである。さらに現状にとどまらず，地球のわずかな変動をもとらえたいと，研究者は新しい技術の導入に向かっている。

VLBI導入が最大の関心事。努力は果てしなくつづく。

なだらかな北上山系の山々が望める緯度観測所の庁舎本館の屋上に立つと，観測所の施設が一望できる。約8万平方メートルの広い敷地のなかに，北緯39度8分の線上に立ち並ぶ観測棟と点在する観測施設は，みごとなハーモニーをかなでているようだ。地球物理学，地震学，測地学，気象学，海洋科学，位置天文学，天体力学などのさまざまな分野の学問がかなでるハーモニーである。

地球の回転のなぞ解きという太い幹のもとに，緯度観測所には組織としてのまとまりのよさが感じられた。そのためか，個々の研究対象が地下であったり，天の星だったりするのに，それぞれがばらついた感じがしない。そんな観測所で，現在の最もホットな関心事は，新観測技術として注目されている電波望遠鏡による超長基線電波干渉計（VLBI）の導入の件である。アメリカでは，すでにこの種の観測にVLBIを導入し，高精度の観測を実現している。

坪川家恒所長は，「極運動は，調べてみればみるほど複雑なもので，現在に至ってはむしろますます解明すべき分野が広がっているのです。これまでの星の光学観測では，どうしても目指す精度まで達しなかった極運動を，1000分の1秒角の精度で観測するために，宇宙の果てにあるクェーサーを観測できるVLBIを導入したい」と抱負を語られた。

緯度観測所は，地球のわずかな変動から宇宙の果てのクェーサーまでを観測し，地球の回転のふらつきの原因を追究し，そして地球の内部構造，ひいては生命体のような地球のすべてを知ろうとしているのだ。

私たちは，地球を知らずして，他の天体を論ずることはできない。今，私たちが立っているこの地球にも，こんなにも生き生きとした一面が秘められていたのか，という新たなおどろきが，緯度観測所の取材を終えた私の心に残った。

ペンギン

繁栄する地上の鳥

解説 内藤靖彦
写真 中村庸夫

南極海の自然はきびしい。
しかし，オキアミなどの豊富なえさに恵まれ
また，強力な捕食者もいない。
海洋生活にみごとに適応したペンギンは
独特な繁殖行動をとりながら
地上の鳥としては例外的に栄えている。



夏になるとアデリーペンギンが南極大陸の露岩地帯にもどってくる。

南極海のペンギンたち

ペンギンは南半球だけに生息し，18種が知られている。そのうち，いわゆる南極海に分布しているのは，アデリーペンギン，コウテイペンギン，ヒゲペンギン，ゼンツーペンギン，マカロニペンギン，ロイヤルペンギン，キングペンギン，イワトビペンギンの８種である。

アザラシやクジラなど南極海に暮らす他の動物と同様に，種類は少ないが，個体数は多いのが特徴で，南極海には1億2000万羽以上ものペンギンが生息している。また，南極大陸縁辺部に生息するのは，アデリーペンギンとコウテイペンギンの２種のみで，他の６種はもっと気候の温暖な南極半島や南極海の島々に生息している。

海洋生活への適応

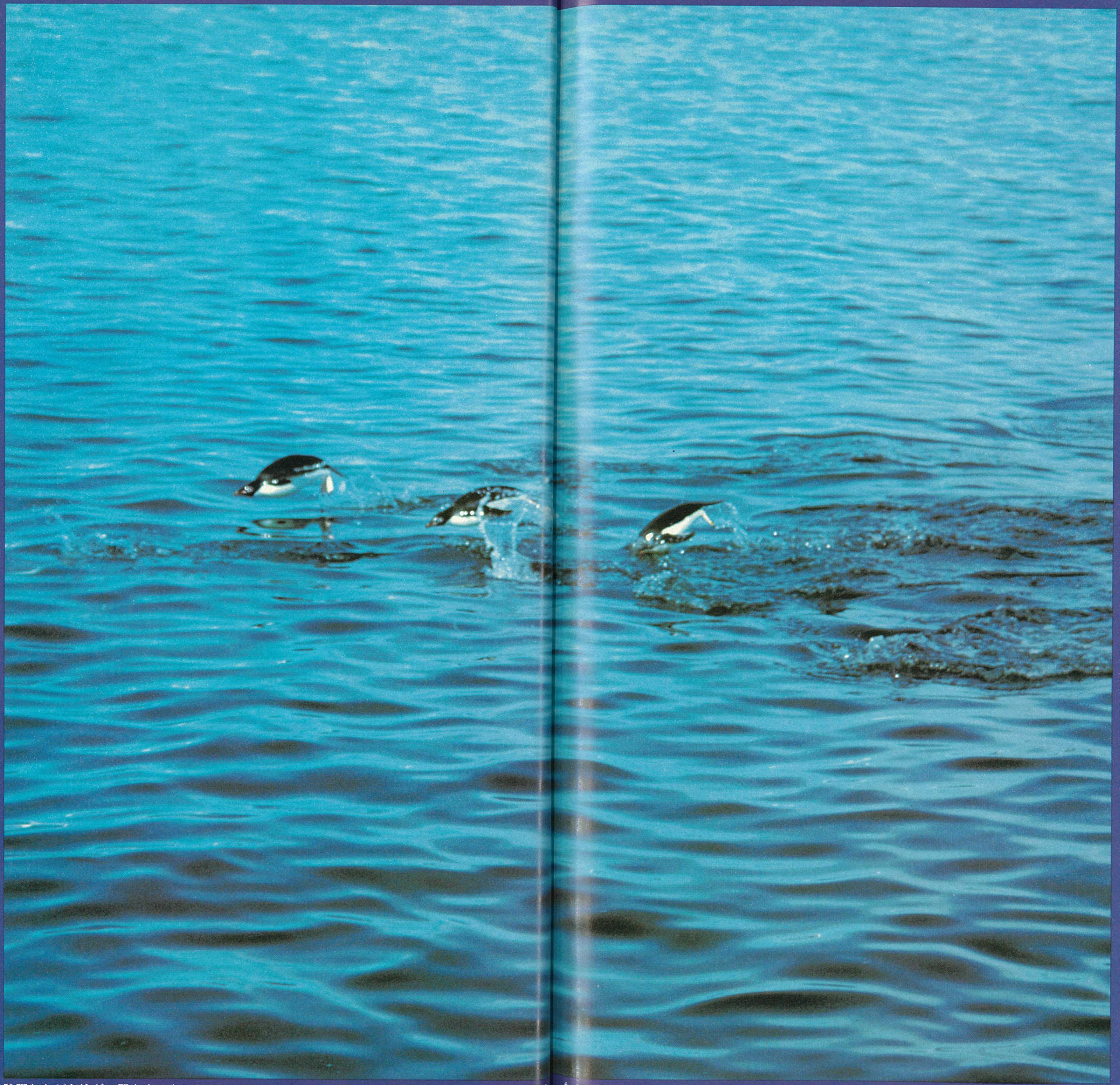
およそ7000万年以上の昔，南極大陸は，南アメリカ，アフリカ，インド，オーストラリアの各大陸に囲まれ，その一部とつながり，ゴンドワナ大陸を形成していた。

当時，すでに鳥類は，脊椎動物のなかで，種類数，個体数，生息域において繁栄を誇っていた。そのなかでペンギンは，空飛ぶ仲間たちと決別し，地上へもどった。最も古いペンギンの化石は，約6000万年前の始新世のもので，その大部分は，オーストラリア，ニュージーランド，南アメリカのパタゴニア，南極半島の始新世の地層から発見されている。

ペンギンは地上の鳥としては例外的に栄え，今日に至っている。これは，おそらく，寒冷ではあるが豊富なえさに恵まれ，かつ強力な捕食者のいない海洋への進出に成功したためだろう。

たとえば，繁殖時のキングペンギンは，えさとりの期間中，体重の19%にもあたる量のえさを毎日とる。１回のえさとり期間は平均４日で，これが終わると陸へもどりヒナにえさをあたえる。えさとりの半分以上は，水深50メートルから100メートルの間で行われる。ときには200メートル以上もぐることもあり，270メートル以上という記録がある。

海洋生活への適応にともない，ペンギンの繁殖行動も独特なものになっていった。



跳躍しながら泳ぎ，羽を水かきにしてかなりのスピードで進む。目の構造も陸上より水中に適したものとなっている。

集団営巣地での繁殖

南極大陸を囲む流氷群，パックアイス域は，大陸よりも暖かい。ここできびしい冬をすごしたアデリーペンギンは，南半球の春にあたる10月後半になると，繁殖のために，大陸沿岸にある営巣地にもどりはじめる。

この集団営巣地はルッカリーとよばれ，大陸沿岸の露岩地帯につくられる。露岩地帯のなかでも，大陸縁辺部のがけによって大陸方向から吹く冷たい風から守られ，積雪がなく，水はけのよいところが選ばれる。

アデリーペンギンの最大規模のルッカリーは，ロス海北西部のアデア岬にあり，70万羽がひしめき合っている。一方，昭和基地のあるリュツォ・ホルム湾周辺のルッカリーは非常に小さく，10数羽から1000羽ぐらいである。

ルッカリーへの帰巣はオスからはじまり，その多くは古巣へ帰ってくる。数十キロから100キロ，ときには何百キロも海氷の上を渡って，巣にもどってくるのである。

巣は小石を円形に積み上げたもので，真ん中がくぼんでいる。アデリーペンギンは，このくぼみにはいって産卵し，卵を温める。

オスの帰巣から数日たつと，今度はメスがもどりはじめる。やがてつがいができるが，相手が何年も同じ場合も，しばしば見受けられる。

つがいは声をだしてたがいに呼び合い，首をのばし口を上に突きだしてあいさつを交わし，相手を確認する。そして10月下旬に交尾し，11月中旬には産卵がはじまる。

一つのルッカリー内での産卵は，タイミングよくほぼ同時に行われ，卵は2個生まれる。

南極の夏は短い。したがって，ナンキョクオオトウゾクカモメに卵を奪われるなどなんらかの原因によって卵を失ったとしても，アデリーペンギンには，新たに卵を産みかえるほどの時間的余裕はない。きびしい条件下で繁殖しヒナを育てるためには，繁殖行動の同期が重要となる。

繁殖時の絶食

帰巣してから産卵までの約3週間，オス，メスともえさをとらない。メスは産卵後数時間たつとえさをとりにもどるが，この間，卵の温め役はオスが務める。メスがえさとりからもどるまでの10〜14日間は，卵にとって最初の非常に危険な時期である。

卵を温めているオスは，巣にたどりついてからすでに4〜5週間以上もえさをとっていない。ほとんど飢餓状態にある。この間のオスの体重の減少は30%にも達している。一方，えさとり前のメスの体重の減少は20%ですんでいる。もし，海氷の状態が悪く，メスのえさとりに時間がかかり，帰巣が遅れると，オスは卵を放棄せざるをえない。

海氷条件は卵の生存率を大きく左右する。たとえば，昭和基地周辺のアデリーペンギンのルッカリーでは，周囲の氷が開きにくいために，卵やヒナの死亡率が高い。ルッカリーの規模が小さいのもこの海氷条件のためであろう。

実際，昭和基地周辺のルッカリーと海氷条件のよいハズウエル島のルッカリーとをくらべると，えさとり



ロイヤルペンギン。頭部が白くオレンジ色のかざりがある。マカロニペンギンやイワトビペンギンなども頭部にかざりをもつ。



南極海周辺のペンギンの分布



コウテイペンギン。冬に大陸沿岸部で繁殖し，ヒナはヒナ集団クレイシーをつくる。



ゼンツーペンギン。頭に白いかざりをもつ。



キングペンギン。コウテイと同じ属で大型。



アデリーペンギンのメスとオスのあいさつ。声をだして呼び合い，あいさつを交わして相手を確認しつがいができる。つがいの相手が何年も同じ場合もしばしばある。



近くの小石を集め，これを丸く積み上げて巣をつくる。



最初はオスが，えさとりからメスが帰ると雌雄交代で卵を温める。



ヒナは誕生後しばらくは親につきっきりだが，やがてクレイシーをつくる。

からの最初のメスの帰巣までの日数は，それぞれ20日と14日であり，1週間近くの開きがあった。

ヒナたちの保育所

メスがえさとりからもどったあと，雌雄交代で卵を温めつづけ，産卵から約1か月後の12月中旬には卵がかえる。ヒナは灰かっ色の産毛(うぶげ)におおわれており，誕生後3～4週間は親につきっきりでいる。その後，ヒナたちは1個所に集まり，集団保育所ともいえるヒナ集団をつくる。これをクレイシーという。

親から離れてクレイシーをつくるころは，ヒナにとって第二の危険な時期である。急激な降雪によって全滅したり，貪欲なナンキョクオオトウゾクカモメの格好なえさとなるからである。

しかし，このころになると，2～3歳の若くてつがいをつくらない未成熟ペンギンがルッカリーにもどってくる。未成熟ペンギンは，巣の周辺にたむろし，交尾行動や巣づくりのまねごとなどをしている。そして，ナンキョクオオトウゾクカモメが侵入すればこれを反撃し，結果的にクレイシーのヒナを守る役割を果たしている。

ヒナの旅立ち

1月下旬から2月上旬，南半球の夏も終わりに近づくころには，ヒナの産毛もすっかり抜けて，親と同じ黒白のツートンカラーとなる。大きさも親とほとんどかわらないほどに成長し，わずかに下あごからのどにかけて残った灰かっ色の産毛だけが親子を区別する。

このころになると，ヒナは親といっしょにルッカリーをあとにし，3，4月には大陸沿岸からすっかり姿を消してしまう。そして，南極にきびしい冬が訪れる。

SPOT パメラ・アスキス

サル学の源流を求めて

Pamela Asquith

カナダのヨーク大学で人類学と心理学を学んだのち，イギリスの
オックスフォード大学大学院で科学哲学を専攻，日本のサル学についての研究で
博士号を取得。次いで日本の文部省の留学制度により
研究留学生として1981年10月に来日。現在，京都大学で
日本のサル学の底を流れる思想についての研究を行っている。
やさしい笑顔と知的なまなざしが印象的な研究者。
1951年生まれ。



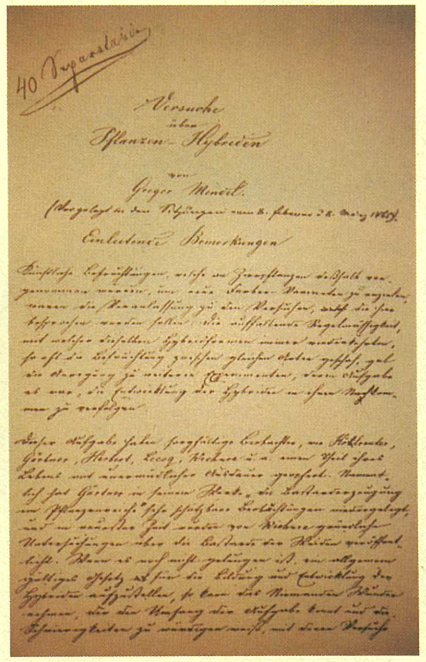
グレゴール・ヨハン・メンデル

遺伝学の創始者メンデルは，8年間もエンドウを交雑して「遺伝の法則」を発見した。しかしだれからも理解されず，今に必ず自分の時代が来ると信じながら世を去ったが，1900年にメンデルの法則は再発見され，世にでた。

もり いずみ

エンドウの7対の対立形質を選びだす

1854年ころのある日，オーストリアのブリュン（現在のチェコスロバキアのブルノ）の修道士グレゴール・ヨハン・メンデルは，親の特徴が子へ伝えられる遺伝の問題に思いをはせていた。彼は，遺伝が無秩序に，また偶然におこるものではなく，ある法則に従っていることを証明しようとしていたのである。



『植物の雑種についての研究』の原稿初ページ

人間や動物を使ってそれを証明するのは，どう考えてもむずかしい。植物を交雑させて雑種をつくり，何代かにわたって調べていくしかない。実験の材料としては，他の花の花粉から簡単に保護できる植物を選ぶ必要がある。昆虫や風の媒介でほかの花粉がかかると，誤った実験結果を導いてしまうからである。マメ科の植物は，花びらの中に雄しべと雌しべが包みこまれていて，つぼみのうちに花びらの中で自家受粉するから，この条件を満たすことができる。メンデルは，多くのマメ科の植物を何回かテストして，エンドウを選んだ。

次に，34種類のエンドウの種子をまいて，2年間にわたって自家受粉させ，子孫にはことなる特徴(形質)のあらわれない安定した系統(純系)をみつけだした。また，さまざまな形質のなかから，個体と個体の間にはっきり対立してあらわれる，次の7対の形質について実験することにした。

1. 熟した種子の形が丸くなめらかなものと，しわがよってでこぼこしたもの。
2. 子葉の色が黄色のものと，緑色のもの。
3. 種皮の色が灰色のものと，白色のもの。
4. 熟したさや(種子をおおう殻)の形がふくらんでいるものと，くびれているもの。
5. 若いさやの色が緑色のものと，黄色のもの。
6. 花のつき方が茎にそって分散して咲くものと，茎の頂端にかたまって咲くもの。
7. 茎の高さが2メートルにもなる大型のものと，30センチくらいの小型のもの。

あとでのべる結果を先取りしていえば，これらの7対の形質はみな，それぞれ前にあげた形質（種子の形では丸形）が優性，あとにあげた形質(しわのよる種子)が劣性である。

優性と劣性の形質の存在を考える

こうして準備を整えたメンデルは，1856年から約8年間にわたって実験をつづけた。

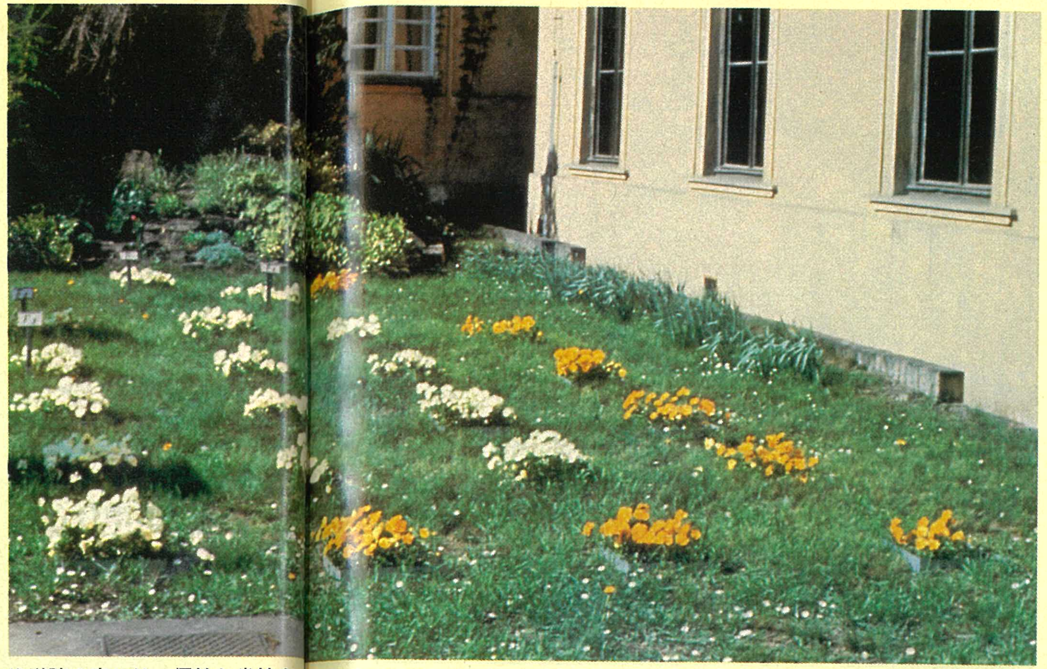
交雑させる二つのエンドウには，対立した形質をもつものを選ばなければならない。たとえば，父エンドウには何代にもわたって丸形の種子を生じる純系のものを，母エンドウにはしわのよる種子を生じる純系のものを選び，それぞれの種子がまかれた。つるにつぼみがつくころになると，メンデルは母エンドウのつぼみを一つずつ開き，花粉をつくる働きをする雄しべをすべてつみ取り，つぼみに紙かキャラコの小さい袋をかけた。やがて父エンドウの花粉が熟すと，その花粉を採取して，母エンドウにかけておいた袋をはずし，その柱頭(雌しべの頂)にふりかけた。



Gregor Johann Mendel (1822～1884)



メンデルの時代の聖トマス修道院(左)。現在も昔のままの姿で保存され，メンデル記念館となっている。



修道院の庭には，優性と劣性を示す白と黄のパンジーが植えられ，遺伝の法則がわかるようになっている。

これとは逆に，種子にしわのよるエンドウを父，種子が丸形のエンドウを母とする交雑もなされた。そして，この形質については，全部で70株のエンドウを使って，287回の交雑がなされたのである。

やがて，これらの種子が実り，子である雑種第1代のさやを開けるときがきた。ところが，おどろいたことに，さやの中には丸形の種子だけが並んでいて，しわのある種子は一つも見当たらなかった。他の六つの対立形質についても，同じような結果が得られた。子葉の色はすべて黄色で，緑色のものは一つもなかった。茎のたけは高いものだけで，低いものは一つもなかった。片方の形質だけがあらわれてくるのである。そこで彼は，このように雑種第1代にあらわれる形質を「優性」，あらわれない形質を「劣性」とよんだ。

メンデルは，次に雑種第1代を自家受粉させて，雑種第2代をつくってみた。ふたたび時がすぎ，どきどきしながらさやを開けるときがきた。さやの中には，丸形の種子と，しわのよった種子の両方が並んでいた。雑種第1代では消えてしまったかのようにみえた劣性の形質が，ふたたびあらわれたのである。彼が手にした7324粒の種子のうち5474粒が丸形の種子で，1850粒がしわのよった種子であった。その比は，優性である丸形の種子3に対して，劣性であるしわのよった種子1の割合であった。

他の対立形質についても，同じような結果が得られた。つまり雑種第2代では，優性と劣性の比が3：1だったのである。

解き明かされた遺伝の法則

これまでに得た結果を，メンデルは理論的にまとめてみた。それぞれの形質が独立して遺伝し，また優性の形質と劣性の形質があることは明らかであった。子は親から，それぞれの形質を決める単位を，一つずつ受けつぐのではなかろうか。遺伝の法則が明らかになった現在では，これらの単位は「遺伝子」とよばれている。したがって子は，両親から受けついだ，一つの形質を決める二つで1対の遺伝子をもつことになる。さらに一つの形質を決める遺伝子には，優性のAと，劣性のaの2種類があるのではなかろうか。この考えに基づいて，雑種第1代と雑種第2代について得られた実験結果を，彼は次のように解釈してみた。

種子が丸形の純系のエンドウは，両親から受けついだ，AAという1対の遺伝子をもっている。種子にしわのよる純系のエンドウは，両親から受けついだ，aaという1対の遺伝子をもっている。親から子ができるときに，両親は，二つで1対の遺伝子のうちの一つずつを子へ引き渡す。二つの遺伝子を引き渡したのでは，子の遺伝子が1対ならぬ2対になってしまうからである。

したがって，AAという遺伝子の対をもった，種子が丸形のエンドウと，aaという遺伝子の対をもった，種子にしわのよったエンドウとが交雑して，雑種第1代ができるときには，その遺伝子の対には，Aaという1種類しかあり得ない。Aaという遺伝子の対では，優性のAが形質を支配し，劣性のaをおさえてしまう。その結果，雑種第1代は種子が丸形のエンドウだけになるはずであり，実験データもそのとおりになっていた。これが今日，優性の法則（支配の法則）といわれるものである。

次に，Aaという遺伝子をもつ雑種第1代を自家受粉させてできる雑種第2代では，両親のもつ1対の遺伝子のうちのどれを受けつぐかによって，AA，Aa，aA，aaという4種類の遺伝子の対ができる。AAおよびaaの遺伝子の対では，ともに同じ遺伝子どうしなので，AAでは優性の丸形の種子に，aaでは劣性のしわのよった種子になる。AaおよびaAの遺伝子の対では，優性のAが形質を支配し，いずれも丸形の種子となる。つまり雑種第2代の遺伝子の対には4種類があり，そのうちの3種類が種子が丸形のエンドウを，1種類が種子にしわのよったエンドウをつくる。したがって，優性の種子が丸形のエンドウと，劣性の種子にしわのよったエンドウの比は3：1となるはずであり，実験データもそのとおりになっていた。これが分離の法則とよばれるものである。

このような理論と実験データの一致は，メンデルの考えがまちがっていないことを示していた。しかし慎重な彼は，さらに実験をつづけて，理論を確実なものにした。

たとえば，雑種第2代の自家受粉でできる雑種第3代や，それ以後の形質を考えてみた。雑種第2代の遺伝子には，AA，Aa，aA，aaの4種類がある。このうち，AAおよびaaの遺伝子対をもつものを代々自家受粉させても，第3代以後の雑種の形質は，どこまでいっても，前者は丸形の種子，後者はしわのよった種子となるであろう。しかし，AaおよびaAの遺伝子対をもつ雑種第2代を自家受粉させたときには，雑種第3代は3：1の比で優性と劣性の形質を生じるはずである。

しかしさすがのメンデルも，遺伝子対の中まで見通すことはできない。したがって，第3代以後の雑種の形質の行方について，彼はこのように予想した。種子にしわのよったエンドウからは，どこまでいっても同じものが生じるだろう。種子が丸形のエンドウのうち，3分の1からは，やはりどこまでいっても同じものが生じるだろう。残りの3分の2からは，雑種第3代では，種子が丸形と，しわのよったものが，3：1の比で生じるはずだというのである。彼は，実際に第3代以後の雑種をつくっているが，その結果は予想とぴったり合っていた。

メンデルはまた，2対の対立形質を組み合わせて雑種をつくるとどうなるかを考えてみた。各対立形質は，たがいに干渉し合うことなく独立して遺伝するとしよう。たとえば，種子が丸形で子葉が黄色の純系（ともに優性）と，種子にしわがあり子葉が緑色の純系（ともに劣性）をかけ合わせると，雑種第1代はすべて種子が丸形で子葉が黄色となるはずである。次の雑種第2代では，種子が丸形で子葉が黄色と，丸形で緑色，しわがあって黄色，しわがあって緑色の4種類が生じ，これらの比は9：3：3：1となると予想される。

実験の結果はそのとおりになった。なお，ここにあらわれた9：3：3：1は一つの形質に注目したときの比3：1を拡張しただけのものにすぎない。たとえば，子葉の色が黄色のものだけに注目し，その種子が丸形のものとしわのよったものの比をとると，9：3すなわち3：1となる。また子葉の色が緑色のものだけに注目し，その種子が丸形のものとしわのよったものを比較すると，その比は3：1となる。彼はさらに，3対の形質についても実験を試み，予想どおりの結果を得た。これを独立の法則という。

理解されなかった遺伝子の考え

このようにして自分の考えに確信をもったメンデルは，8年間の実験結果をまとめて，1865年2月と3月のブリュン自然科学研究会の例会で発表した。反響はゼロであった。自然科学研究会の日誌には，「だれの質問もなく，討論もなかった」としるされている。講演の内容は，翌年に論文としてブリュン自然科学研究会の会報にのせられた。この論文こそ，『植物の雑種についての研究』であったが，各国で

わずかに紹介されただけで，反響はなかった。

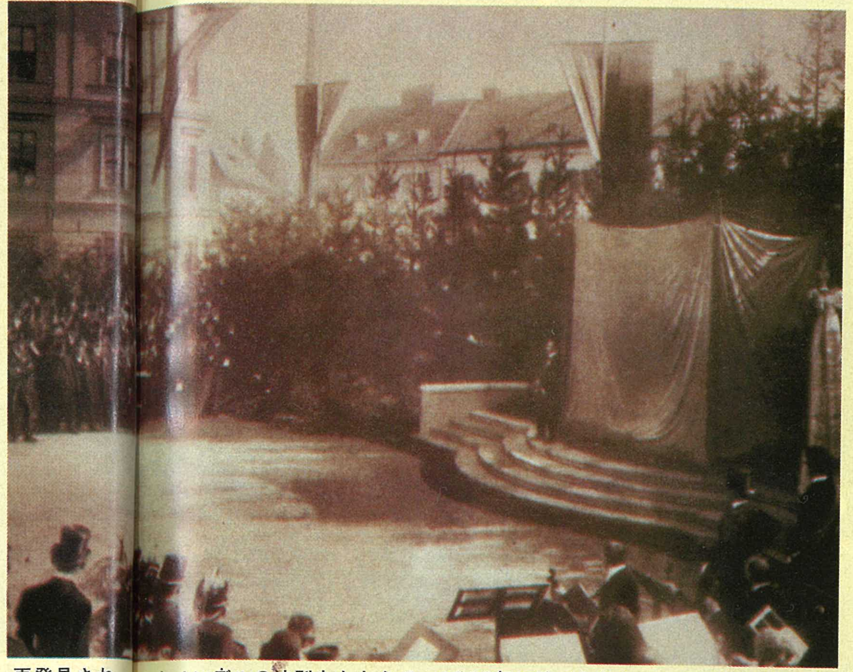
彼はその年の暮れに，論文の別刷を当時の第一級の植物学者であるミュンヘン大学のネーゲリに送って，意見を求めた。だが，待ちに待って数か月後にきた返事には，論文について何もふれられていなかった。

ネーゲリや当時の植物学者たちは，メンデルが考えた遺伝子とはことなる遺伝物質を仮定していた。つまり，細胞の中には各形質に対応した遺伝物質があり，それがまざり合って新しい形質を生じるというのである。ネーゲリには，優性や劣性という考えが理解できなかったのである。

メンデルは，それでも自分の研究に自信をもっていた。彼はすでに，エンドウの１万株以上の雑種を栽培して，１万2980個のサンプルを観察し統計をとっていた。しかも，エンドウで発見した遺伝の法則が，他の植物でもなりたつかどうかを確かめるために，インゲンマメを材料とする実験を行っていたからである。



メンデル記念館の庭に立つメンデルの記念像



再発見されたメンデルの法則をたたえて，1910年に建てられたメンデル像の除幕式。



モラビア北部のヒンチーツェにあるメンデルの生家

インゲンマメの交雑実験では，ある形質については，エンドウの場合とまったく同じ法則に従った結果が得られた。しかし，いくつかの形質については，これまでとまるでちがった結果があらわれ，メンデルをおどろかせた。たとえば，白い花のインゲンマメと，赤紫の花のインゲンマメをかけ合わせると，その雑種第１代は全部淡い赤紫となり，両親のどちらにも似ていなかった。これは，雑種第１代には優性があらわれるという，これまでに彼が得た結果と矛盾していた。次の雑種第２代では，純白から赤紫におよぶいろいろな色の花があらわれて，さらに彼を困惑させた。しかしやがてメンデルは，この結果のうまい解釈にたどりついた。それは，ある種類の植物では，花の色の特徴が，一つの遺伝単位だけでなく，二つの遺伝単位によって支配されるというものであった。こうして，最初彼を困惑させたインゲンマメの花の色のなぞも解けたのである。

メンデルの考えの正しさが認められたのは，発表後35年たった1900年のことであった。その年の３月にオランダのド・フリースが，４月にはドイツのコレンスが，６月にはオーストリアのチェルマクが，自分たちの研究結果を発表し，同じ研究がすでにメンデルによってなされていたことを報告したのである。ちなみに，「メンデルの法則」と名づけられたのは，このときである。

私の実験はきっと認められるだろう

「遺伝学の父」とよばれるメンデルは，1822年７月，オーストリアのハインツェンドルフ（現在のチェコスロバキアのヒンチーツェ）という小さな村に生まれた。この村の小学校では，初等教育のほかに，とくに果樹の栽培やミツバチの飼育法を教えていた。また父が果樹をつくっていたので，メンデルは早くからその改良法を学んだ。彼の植物に対する興味は，このころからはぐくまれていたのであろう。

メンデルは，小学校で早くも非凡な才能をあらわした。苦しい農民の生活から脱するには上級学校へ進学するしかないと考えた両親は，彼を中学と高等学校まで進ませてくれた。しかし，それ以上の学費をだすことはできなかった。そこでメンデルは1843年，ブリュンのアウグスチヌス会聖トマス修道院に修道士としてはいった。グレゴールは，ここであたえられた修道名であり，1847年に司祭になった。

当時の修道院は，修道士の活動として，僧職と布教，教育のほかに，科学研究に努めることを目標としていた。聖トマス修道院には，さまざまな分野の学者たちが修道士として集められていた。修道院長のナップは，自然科学にすぐれたメンデルの才能を見抜いて，植物学の専門教育を受けさせ，ウィーン大学へ留学させてくれた。

ウィーンは当時，ヨーロッパ文化の中心であった。メンデルはここで数学や物理学のほかに，生物の体は細胞からできているということも学んだ。

ウィーンからもどった彼は，修道院の庭でエンドウを材料とした実験を行い，遺伝の法則を発見したのである。

1868年，修道院長に選ばれたために，メンデルはエンドウのような大がかりな実験はできなくなってしまった。それでも彼は，余暇をみつけて，気象の観測や太陽の黒点の観測をつづけ，またミツバチの実験を行ったりしている。そして，養蜂家たちに，交雑によってすぐれた品種をつくるようにすすめた。メンデルのミツバチの育て方を見学するために，各地から養蜂家たちが訪れた。しかしこの修道院長が，やがて世界の生物学界をゆるがすような大きな仕事をしていたことを知るものは，だれもいなかった。彼の実験ノートや記録の多くが消えうせていることからも，それがうかがわれる。

メンデルは，1884年１月６日，偉大な研究を認められないまま世を去った。晩年に，「私の実験は大きな満足をあたえてくれた。世界がこのことを認めてくれるのは，それほど先のことではない」と語ったといわれる。

50年後に証明された遺伝子の存在

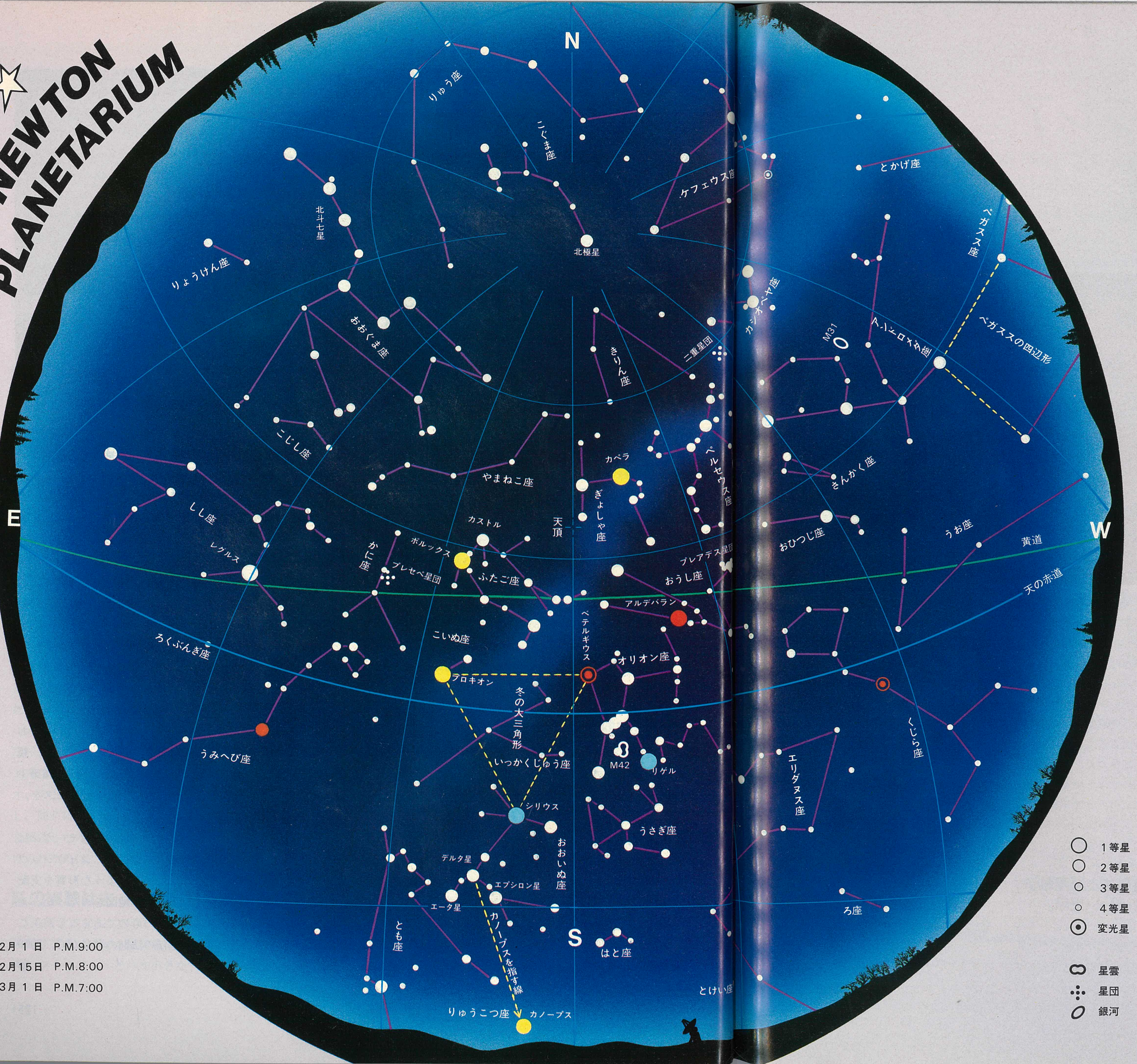
メンデルはもちろん，彼のいう遺伝の単位（遺伝子）がなんであり，それが生物の細胞のどこに存在しているのか，知るすべもなかった。しかし，彼の論文がだれにも読まれないでむなしく眠っていた30年あまりもの間に，細胞学はいちじるしく進歩した。細胞の核の中に，色素で染めることができる，いくつかの糸のようなものが発見され，染色体とよばれた。

そして，細胞が分裂するときには，それらの染色体は二つに分かれ，それぞれが細胞の反対の極に動いていく。やがて，その間に細胞膜ができ，こうして一つの細胞が二つの細胞になる。しかし，精子や卵のような生殖細胞（性細胞）ができるときには，減数分裂という特殊な分裂をし，生殖細胞の染色体の数は，普通の細胞の半分になる。精子と卵の受精によって子の細胞ができるときに，染色体の数はふたたびもとにもどる。

このような染色体の行動は，メンデルのいう遺伝の単位（遺伝子）が染色体の上に配列していることを思わせる。減数分裂による生殖細胞の染色体数が，普通の細胞のそれの半分であるという事実は，親から子ができるときに，両親が１対の遺伝子のうちの一つずつを子へ引き渡すとする，メンデルの考えと一致する。また受精によって子の細胞ができるときに，染色体の数がもとにもどるという事実は，両親から受けついだ，一つの形質を決める二つで１対の遺伝子を子がもつという，メンデルの考えと一致するからである。AAという１対の優性遺伝子のうちの一つのA，およびaaという１対の劣性遺伝子のうちの一つのaが，親から子へ受けつがれ，交雑（受精）によってできた雑種第１代がAaという１対の遺伝子をもつに至ったプロセスを，もう一度思いだしてほしい。

1910年ごろから，アメリカの遺伝・発生学者モーガンは，ショウジョウバエを使った交雑実験を行い，ショウジョウバエのそれぞれの染色体のどこに，どのような形質を支配する遺伝子が存在するかを示す染色体地図をつくった。メンデルの予想した遺伝単位が実在のものであることが，こうして証明されたのである。遺伝の法則の発見から，約50年後のことであった。

NEWTON PLANETARIUM



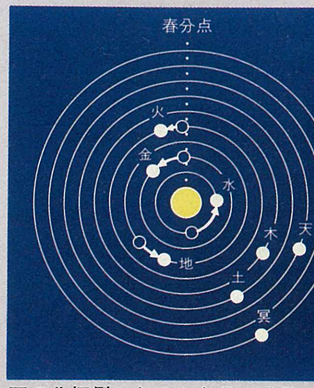
2月1日 P.M.9:00
2月15日 P.M.8:00
3月1日 P.M.7:00

- 1等星
- 2等星
- 3等星
- 4等星
- 変光星
- 星雲
- 星団
- 銀河

2月の星空

月と惑星

中国や日本の暦では，太陽の1年間の見かけの経路（黄道）を15度ずつに24等分して，太陽がその各点を通過するときを季節の目安にしてきた。今月4日の立春は，冬至と春分のちょうど中間で，春のはじまりを示す。日没後の西の空では，金星が宵（よい）の明星（みょうじょう）としてだいぶ高くなってきている。地球からみると，19日の午前7時に，金星と火星とがすぐそばに並ぶ。しかし，この時刻には星はみえないので，18日，19日，20日の日没後に観察してみよう。二つの惑星は，太陽や月の視直径とほぼ同じくらいの距離に近接していることがわかる。その位置が，春分点のすぐ西となる。



天の北極側からみた今月の惑星の動き

星と星座

今月の宵の空には，頭上から南天にかけて，ふたご座，おうし座，オリオン座，こいぬ座，おおいぬ座といった，明るい星の多い星座がその光を競っている。その南の果てに，りゅうこつ座の1等星カノープスがみえる可能性がある。南の地平線がよく見晴らせる所に立って，おおいぬ座の三つの2等星がつくるへ形を3等分した右側の線を延長していき，地平線のすぐ上あたりを探してみよう。カノープスは，シリウスに次ぐ全天第2位の明るい星だが，日本付近では地平線すれすれのために，光が大気に吸収され，ずっと暗く赤味がかってみえる。ただしこの星は，関東地方以南でしかみられない。中国では，南極寿老人（じゅろうじん），または老人星といって，この星をみると長生きするという伝説がある。

冬の星はよくまたたく

星がまたたくのは地上だけのことで，月や人工衛星からみる星はまたたかない。地球のまわりの空気の流れが，星の光の進路を乱すために，またたきがおこるのである。空気の流れが速いと，またたきが強まる。冬型の気圧配置が強まり，北西の季節風が吹きだすときには，星がよくまたたく。このときには，空気の透明度がよくなり，星の明るさも増すので，冬の星は美しくみえるのである。

SCIENCE BOX

太陽フレア

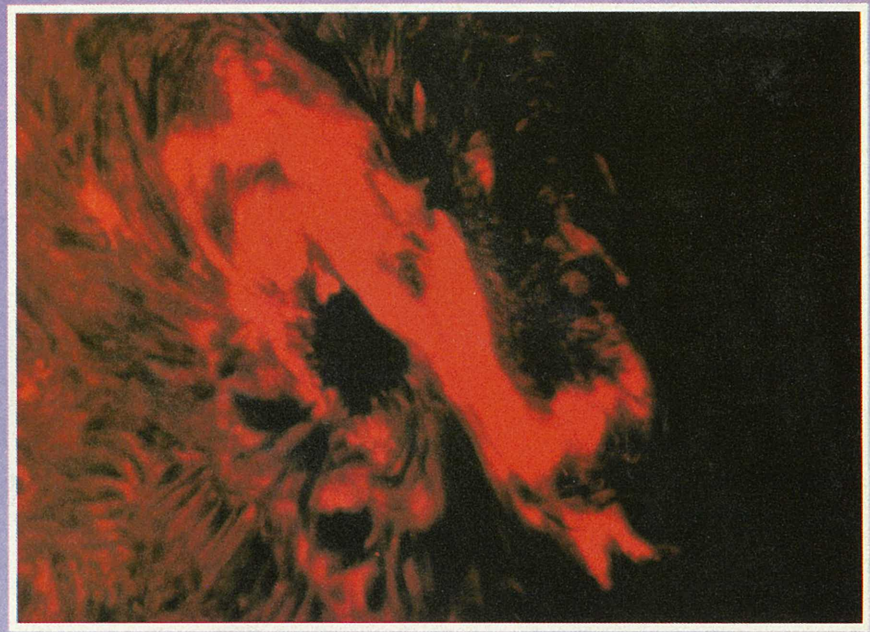
黒点活動にともなって生じる大気層でのはげしい爆発は，地球にも大きな影響をあたえる。

太陽の黒点のまわりに突然あらわれる明るい閃光。

1859年９月のことである。イギリスの天文学者キャリントンは，太陽の黒点を観測していたところ，黒点のまわりの一部分が突然明るく輝きだしたことに気づいた。その閃光はわずか数分間で終わってしまったが，その直後から地磁気が乱れ，18時間後にはみごとなオーロラが発生した。その年は，11年周期で増減をくりかえす太陽黒点の数が多い年だった。当時すでに，太陽の黒点の消長が地球の磁場を変化させることが知られており，この閃光は学者たちの注目を浴びた。

これが最初に観測されたフレア(炎)である。キャリントンは，すりガラスなどを通して太陽をみたとき円板状にみえる光球とよばれる太陽の表面でフレアを発見した。その後，このようなフレアはいくつか観測されたが，きわめてまれにしかおこらないものであった。

やがて，太陽の観測技術が進歩して，皆既日食のとき以外にはみえない，光球のまわりの大気層からでる弱い光を観測できるようになった。すると，大気層ではもっと多くのフレアが発生していたのである。太陽の大気層は，光球の外側の彩層と，その外側のコロナからなり，上層ほどガスの密度は希薄に，温度は高くなる。そして，その温度に対応した波長の光を放っている。彩層からは，中性水素の発光であるＨアルファ光がとくに強く放射されている。そこで，この光の波長だけで太陽をみると，彩層のガスの流動や明暗をみることができる。



Ｈアルファ光でみた彩層領域でのフレアの輝き。２本の明るい筋からなる。

Ｈアルファ光でみたフレアは，２本の平行な明るい筋からなり，数分から15分間のうちに急激に明るさを増す。その後はゆっくりと明るさが減少し，１時間から数時間でもとの明るさにもどる。フレアの輝く領域は，地球の大きさ程度のものから，大きなものではその何十倍にもなる。そして，黒点の出現数の極大期には，１日に数個から十数個，極小期には数日から数十日に１個が発生している。

さまざまな電磁波と荷電粒子を放出するはげしい爆発。

太陽からは，可視光だけでなく，それよりも波長の短い紫外線やＸ線などが放出されている。これらの電磁波は，高温のガスから放射される。紫外線を強く放射しているのは，温度１万～数十万度Ｋの彩層とコロナの境界層で，Ｘ線を強く放射しているのは，温度100万度Ｋ以上のコロナ領域である。しかしこれらの電磁波は，地球の大気に吸収されてしまい，地上からは観測できない。1973年から翌年にかけて，宇宙実験室スカイラブが，紫外線とＸ線の波長域で太陽を観測した結果，フレアの姿も明らかになった。

フレアからは，これらの電磁波が非常に強く放射されている。その強さは，Ｈアルファ光での増光が周囲の数倍程度なのにくらべて格段に大きく，フレアが彩層ではなくコロナに発生することを示していた。つまりフレアは，彩層に両足を踏まえてコロナの中に立つ，半円形のループの姿をしていたのである。ループの頂は500～2000万度Ｋという超高温のプラズマ（原子の原子核と電子が分離した状態）になっている。このプラズマの熱が彩層や光球に伝わり，その輝きをみせていたことになる。

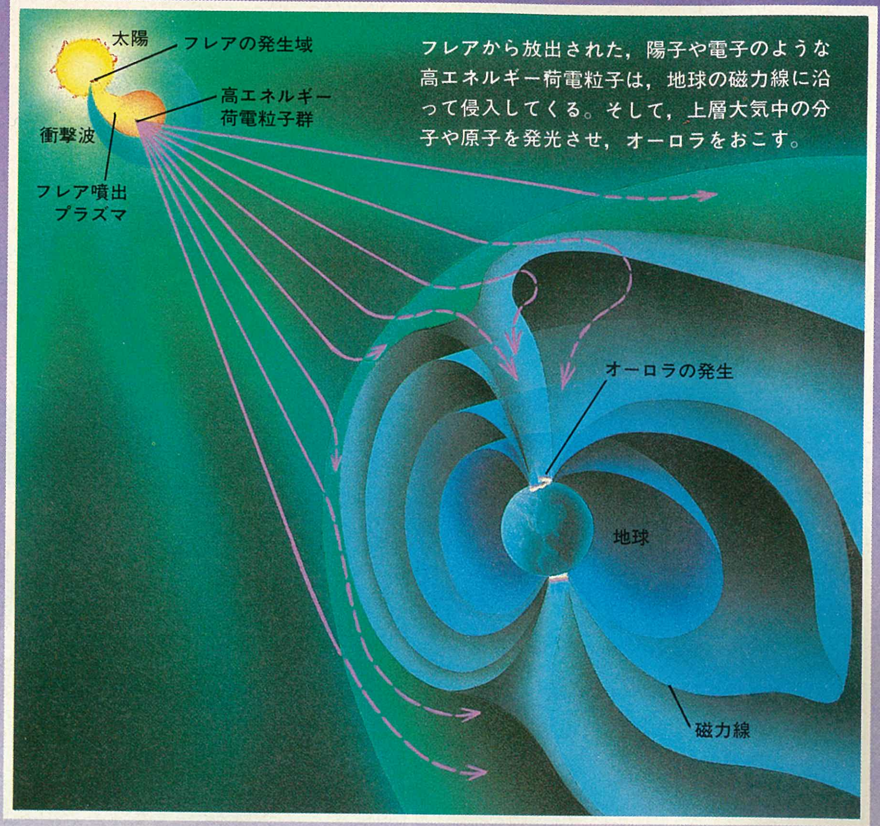
フレアからはまた，可視光よりも波長の長い電波や，高エネルギー荷電粒子である陽子や電子が多量に放出されている。

地球の上層大気を乱し，オーロラを出現させる。

フレアのはげしい爆発により，そのまわりのガスが加熱されると，衝撃波が生じる。この衝撃波はコロナのガスを振動させて，特定の電波を放射させる。またフレアで加圧された領域のガスは，膨張して噴出しはじめ，プロミネンス(紅炎)などの現象をひきおこしている。

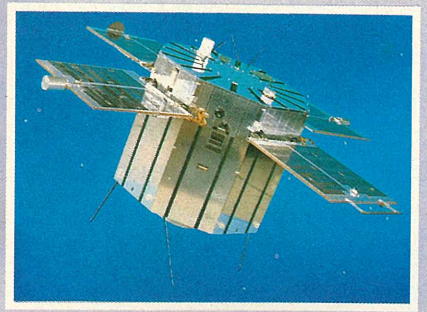
フレアは，地球にも大きな影響をあたえている。フレア初期に放出されるＸ線は，地球の大気層深くまで侵入してきて，地上60キロあたりの大気中の分子や原子の電子をはぎ取ってしまう（電離)。そして電離した電子は，中性原子と衝突してエネルギーを失っていく。

その結果，この高さを透過して，その上の電離層（太陽からくる紫外線やＸ線のために電離した電子を多く含む地上80～350キロの層）で反射されるはずの波長の短い電波が，これらの電子に吸収されてしまう。このため，電離層での反射を利用した短波通信が妨害され，ときには通信が不可能となる。この現象は，フレアの発生とほとんど同時におこる。



またフレアから放出された，陽子や電子のような高エネルギー荷電粒子は，１～２日後に地球に到達する。しかし，地球のまわりの磁場にさえぎられて，赤道方向へは容易に到達できないで，両極方向へ，磁力線沿いにらせん運動をしながら侵入してくる。そして，電離層の電離を強め，電波障害をひきおこす。さらに，これらの荷電粒子によって電流が誘導されると，地磁気にはげしい変化があらわれる。これを磁気嵐という。

荷電粒子はまた，上層大気に含まれる酸素や窒素などの分子，原子と衝突して発光させ，オーロラをおこす。オーロラは，荷電粒子の飛跡を示すように，地球の磁力線に沿って縞状にあらわれる。



フレアをＸ線で観測する衛星「ひのとり」

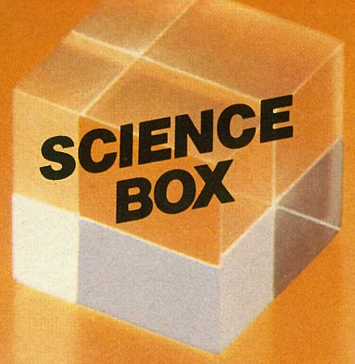
フレアのエネルギーは太陽の磁場に蓄えられている。

それでは，フレアのこのような巨大なエネルギーは，どこでつくりだされているのだろうか。フレアは，黒点のまわりの磁場の急激な変化にともなって発生していることから，そのエネルギーは磁場に蓄積されるものと考えられる。

黒点は，光球面だけをみると点のようにみえるが，光球内部で生みだされる。そこには大きな磁力線の束があり，太陽自身の自転や対流のために，その一部が分かれてループ状に光球上に飛びだしてくることがある。このループの光球面での切り口が黒点である。したがってフレアは，このループそのものといえよう。

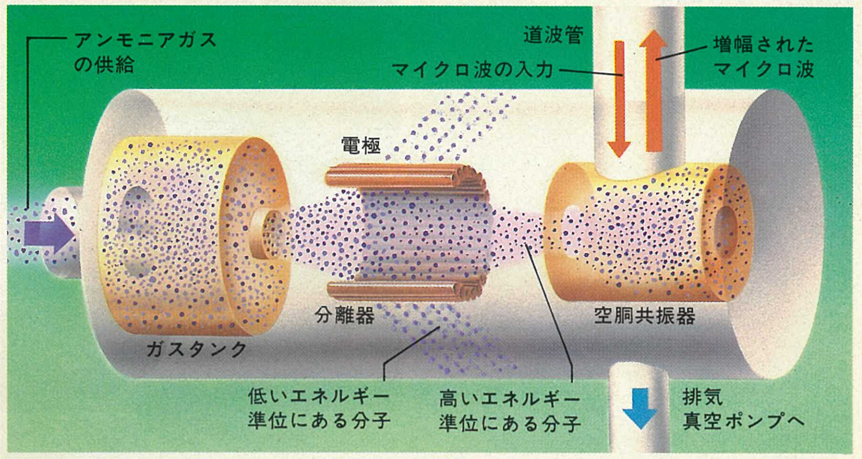
ループには大小さまざまな形があり，大きくても単独に存在するものは，フレアがおこりにくい。多くのループが入り組んでいる黒点群では，ループが大きくねじられ，フレアがおこりやすい。

しかし，これらのループにどうやってエネルギーが蓄えられ，どのような機構で突発的にエネルギーが解放されるかは，まだ明らかではない。フレアのごく初期には，Ｘ線のなかでもエネルギーの大きい硬Ｘ線が増光することから，アメリカのSMM衛星や日本の衛星「ひのとり」が，硬Ｘ線でフレア解明に努めている。



メーザー

今をときめくレーザーは，メーザーを母体として開発されてきた。



アンモニアの分子線メーザー

メーザーは，レーザーと同じ原理の装置である。

メーザー（Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation, 誘導放出放射によるマイクロ波の増幅）とは，レーザーの生みの親ともいえる装置で，その原理は同じである。

両者とも原子や分子の量子力学的性質を利用しているが，メーザーはマイクロ波を発振・増幅し，レーザーは光を発振・増幅する。

マイクロ波も光も電磁波ではあるが，波長領域がちがう。マイクロ波は波長約1メートルから約1ミリまでの電磁波を指し，光は約1ミリから100万分の1ミリまでの波長の電磁波である。

メーザーのMはMicrowave（マイクロ波）を，レーザーのLはLight(光)を示している。メーザーで発振あるいは増幅されたマイクロ波は，レーザー光と同様に，波長と位相のそろった波であり，これがメーザーの特徴となっている。

分子の量子力学的性質を利用した分子線メーザー。

最初のメーザーは，1956年にコロンビア大学のタウンズによって開発された。これは，ガス状のアンモニア分子を使った分子線メーザーとよばれるものである。

分子は，いくつかの決まったエネルギーをもっていることを量子力学は明らかにしている。このエネルギーの値と，その個数は分子の種類によって定まり，これをエネルギー準位という。アンモニア分子の場合には，二つのエネルギー準位がある。両準位のエネルギーの差は，約2万4000メガサイクルのマイクロ波のエネルギーに等しい。

このアンモニア分子に2万4000メガサイクルのマイクロ波を照射すると，低いエネルギー準位にある分子は，そのエネルギーを吸収して高い準位に移る。一方，高いエネルギー準位の分子は，2万4000メガサイクルのマイクロ波を放出して低い準位に落ちる。

もし，高いエネルギー準位の分子数が，低いエネルギー準位の分子数より多ければ，照射したマイクロ波は強められ，より大きなエネルギーをもつマイクロ波を取りだすことができる。つまり増幅が可能となる。しかし，普通の条件下では，低いエネルギー準位の分子数の方が多い。

増幅させるためには，何らかの方法で，高いエネルギー準位の分子数を多くしなければならない。

強い電界で，高いエネルギー準位の分子を選択的に分離。

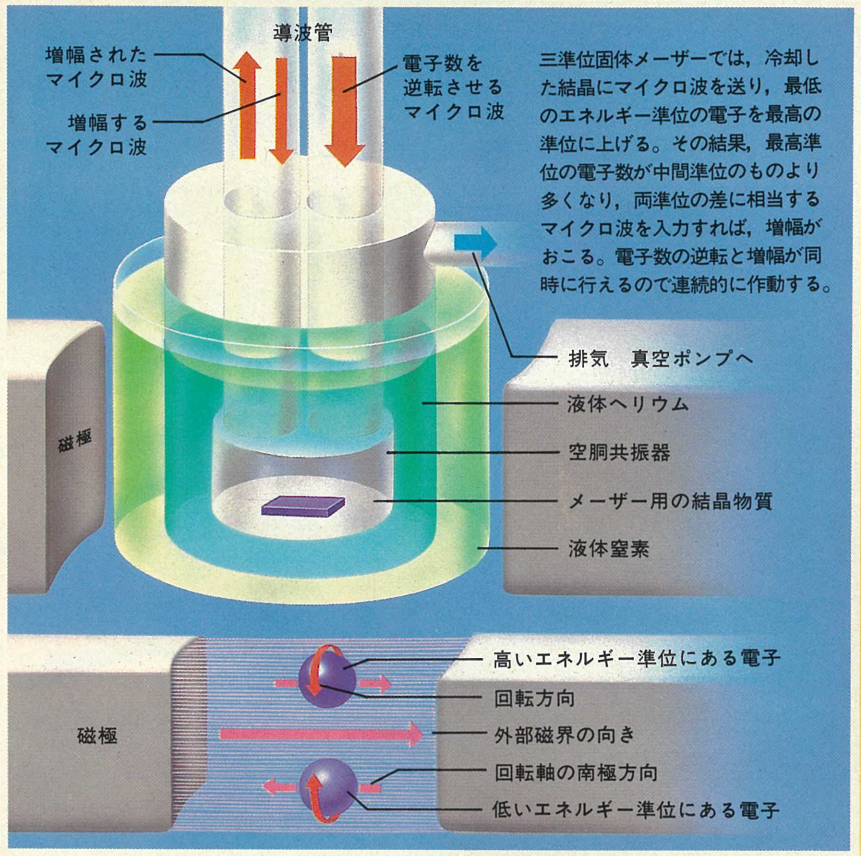
タウンズの開発したアンモニアの分子線メーザーでは，強い電界中にアンモニア分子を噴きだすことによって，高いエネルギー準位にある分子の分離を行った。

高いエネルギー準位にある分子は，強い電界から反発され，低いエネルギー準位にある分子はひきつけられるという性質を利用したのである。

分離された高いエネルギー準位にあるアンモニア分子は，空胴共振器という金属性の箱の中に導かれる。そこにマイクロ波が入力され，増幅がおこる。

また，空胴共振器の中のアンモニア分子どうしが衝突すると，低いエネルギー状態に落ちてマイクロ波が放出される。十分な数の分子が存在し，空胴共振器の箱の大きさが放出するマイクロ波に共鳴するものであれば，分子は次々とマイクロ波を放出し，強力なマイクロ波の発振がおこる。このようにすれば，分子線メーザーは発振器ともなる。

分子線メーザーの開発によって，それまであまり手がつけられていなかった短波長領域の電磁波であるマイクロ波を発振したり，余分な雑音をあたえずに増幅することが可能となった。そこで，アンモニア分子以外のさまざまな分子を利用したメーザーの開発が試みられた。また，同一周波数のマイクロ波を安定して発振するという性質から，これを時計の振り子として利用し，正確な時計をつくろうという研究も進んだ。



三準位固体メーザー

固体メーザーの登場により，周波数領域が広がった。

分子線メーザーでは，発振・増幅できるマイクロ波は，分子固有のエネルギー準位に依存し，限られた周波数領域しか発振・増幅できない。

この問題を解決したのが固体メーザーで，これは結晶中の原子の外殻を形成している電子に注目した装置である。

電子は回転している小さな磁石と考えることができる。磁性をもたない物質の原子では，電子は磁界の方向が逆になるように2個ずつ対をつくって磁界を打ち消し合っている。ところが，常磁性物質とよばれる磁性をもつ物質の原子には，対をつくらない電子がある。

常磁性物質に外から磁界をかけると，不対電子は二つの状態をとることができる。一つは外部磁界と同じ向きの磁界をつくる回転の状態で，もう一つはその反対である。前者の方が高いエネルギーをもっている。つまり，不対電子には，二つのエネルギー準位があるわけである。

二つのエネルギー準位のエネルギー差は，外部磁場の強さによるので，その強さを変化させれば，いろいろな周波数領域のマイクロ波を扱うことができる。

結晶中の原子が1個の不対電子をもつときには，電子の回転のエネルギー準位は二つしかない。このような結晶を用いた固体メーザーを二準位メーザーという。二準位メーザーでは，電子が低い準位に落ちてしまうと増幅作用は止まってしまい，連続させることができない。

2個以上の不対電子と三つ以上のエネルギー準位をもつ原子を含む結晶を用いれば，連続的に作動する固体メーザーをつくることができ，これを三準位メーザーという。ルビー結晶は，最もすぐれたメーザー用の結晶の一つだが，この結晶中のクロム原子は，3個の不対電子と四つのエネルギー準位をもっている。

こうした固体メーザーは，電波天文学においては，宇宙からくるマイクロ波の増幅に利用され，また，通信への応用も考えられた。

より周波数の高い光の発振・増幅へと進んだメーザー技術。

メーザーの研究が進むにつれ，マイクロ波よりも周波数の高い光の発振・増幅を，分子や原子のエネルギー準位を利用して行おうという試みがさかんになった。周波数の高い電磁波ほど大量の情報を一つの周波数にのせて運ぶことができ，人類の通信の歴史もこの方向に沿って発展してきたからである。

1960年，当時ヒューズ社の研究所にいたメイマンによって，暗赤色の光を発振する最初のレーザーが開発された。当時はレーザーという言葉はなく，これは光メーザーとよばれた。やがてメーザーの主流は光メーザーに移った。レーザーという名称も定着し，その陰で本来のメーザーは忘れ去られていった。これは通信をはじめさまざまな分野において，メーザーが果たそうとしていた役割をレーザーがより効率よく果たしてしまったからである。しかし，メーザーがレーザーの母体であることはゆるぎない事実であり，現在も，電波天文学，衛星通信などの分野では，増幅器として活躍している。

SCIENCE BOX

RNA

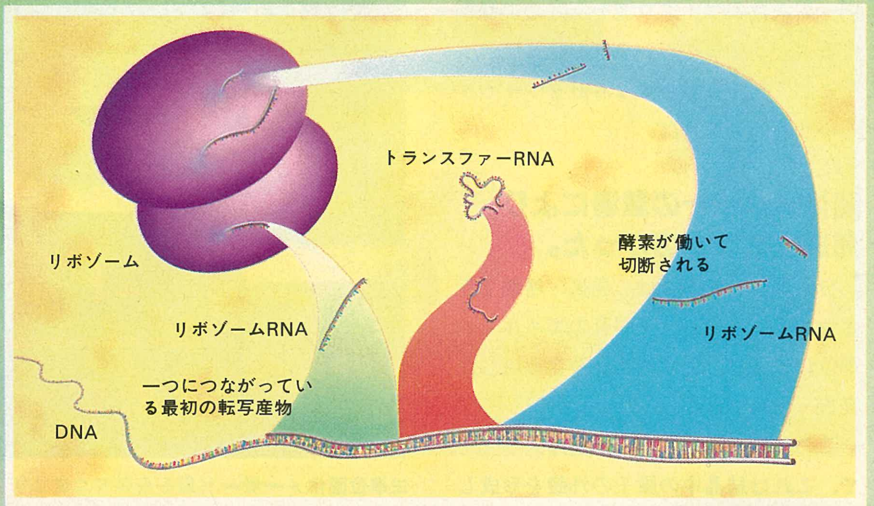
タンパク質合成に関与する核酸。その役割と構造は，徐々に解明されつつある。

タンパク質合成には，3種類のRNAが関与している。

RNAとはリボ核酸のことである。1944年，アベリーらは肺炎の病原菌である肺炎双球菌を用いて，遺伝的な性質がどのように変化するのかという形質転換実験をした。その結果，DNA（デオキシリボ核酸）が遺伝情報をになっていることを明らかにしたが，実はこのころまでに，この RNA がタンパク質の生合成に関与しているらしいことがわかっていた。

核酸とは，塩基と糖とリン酸とからなるヌクレオチドが多数鎖状につながったもの(これをポリヌクレオチド鎖という)である。RNA はその名の示すとおり，リボースを糖としてもち，またアデニン，ウラシル，グアニン，シトシンを塩基としてもつ。DNA の糖はデオキシリボースであり，塩基にウラシルではなくチミンをもつ点が RNA とことなっている。さらに，DNA は普通ポリヌクレオチド鎖が，2本対になって存在しているが，RNA は1本鎖である点も，二つの核酸の相違点である。

RNA の構造と機能の研究が進められるうちに，メッセンジャー RNA，トランスファー RNA，リボゾーム RNA の3種類があり，それぞれがタンパク質合成に関与していることがわかった。



大腸菌のリボゾームRNAとメッセンジャーRNAの転写

メッセンジャーRNAの役割は，遺伝情報の転写と指令。

細胞がどのようなタンパク質をつくるかは，DNA の塩基の並び方（これを遺伝情報という）で決定される。一方，細胞内のタンパク質合成の場はリボゾームであり，DNA の情報をここまで伝える役割をする物質が必要である。ジャコブらはこの物質が RNA であることを示し，DNA の情報を伝えるところから，これはメッセンジャー RNA と名づけられた。DNA の2本鎖のうち，一方の鎖だけがメッセンジャー RNA 合成の鋳型(いがた)となる。このように遺伝情報が DNA から RNA に伝わることを「遺伝情報の転写」という。

合成されたメッセンジャー RNA は，大腸菌など下等生物(原核生物)の場合はすぐにタンパク質合成に使われるが，高等生物(真核生物)の場合は，その前に1本鎖の両末端がタンパク質と結合する。これらの結合は，細胞内の酵素により，RNA がこわされるのを防いで，リボゾームに到達するまでの間，安定度を増す働きをすると考えられている。

このようにしてつくられたメッセンジャー RNA はリボゾームへと移動し，タンパク質合成を指令する。

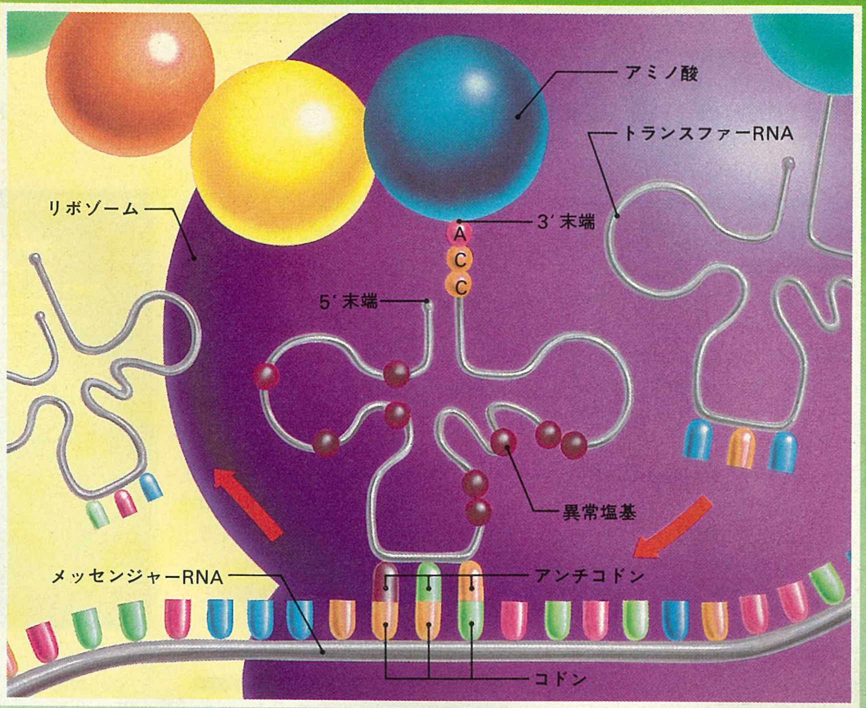
リボゾームRNAは，未解明な点を最も多く含んでいる。

リボゾームは，大小2個の粒子（サブユニット）が一つにくっつき，細胞質内に浮遊していたり，粗面小胞体に数多く付着したりしている。RNA とタンパク質とからなり，この RNA をリボゾーム RNA という。リボゾーム RNA は，細胞中の全 RNA の約90%を占めているにもかかわらず，リボゾームの中でどのような機能を果たしているのかについてはまだよくわかっていない。

リボゾーム RNA の遺伝子はもちろん DNA 上にあるが，その転写について興味深い現象が知られている。

大腸菌の3種類のリボゾーム RNA の遺伝子と1種類のトランスファー RNA の遺伝子はひとかたまりになっており，それらが読み取られてできる RNA は1種類である。この最初の転写産物が順番に切り取られ，よけいな部分が除かれた結果，最終産物である3種類のリボゾーム RNA と1種類のトランスファー RNA ができる。個々の遺伝子から個々の RNA ができるのではなく，四つの遺伝子から一つの RNA ができ，それから，四つの RNA ができるのである。

真核生物でも同じようなことがおこることが知られているが，生物がなぜわざわざこのようなことをするのかについてはまだわかっていない。



コドンにアンチコドンが対応し，DNAの遺伝情報どおりにタンパク質が合成されていく。

三つ葉の形のトランスファーRNAはアミノ酸を運搬する。

ではどのようにして指令が読み取られ，アミノ酸が一つ一つつなげられてタンパク質がつくられていくのであろうか。

クリックはここにおいても，RNA が機能していることを予言し，まもなくそれが正しいことが示された。この RNA がトランスファー RNA である。

1965年，ホリーはアラニンを特異的にくっつけるアラニントランスファーRNA の全塩基配列を決定した。その後，さらに約70個の塩基配列が決められた。

これらの結果から，この RNA は70から90のヌクレオチドからなる1本鎖RNAで，通常の4種の塩基がメチル化されたいわゆる異常塩基を多く含む点が，他の RNA とことなっている。平均的には，クローバーの葉の形をしており，一方の末端(3′末端)は必ず CCA（シトシン，シトシン，アデニン)の塩基配列をもち，この部分に活性化されたアミノ酸が結合する。

一方，X線回折を用いて立体構造も研究され，トランスファー RNA はクローバーの葉を折り曲げてできるL字型の立体構造をもち，L字の一方の端(CCA)にアミノ酸が結合し，他方の端，すなわち，クローバーの真ん中の葉の部分にメッセンジャー RNA の指令に対応するアンチコドン部位があることがわかった。

コドンとはコード(暗号)からつくられた言葉で，メッセンジャーRNAの塩基配列のとなり合った3文字ずつが一つのアミノ酸を指定しているわけだが，この3文字の組のことを指す。コドンに対応するトランスファー RNA 中の塩基配列がアンチコドンである。

コドンとアンチコドンがうまくペアをつくることにより，メッセンジャーRNA の指令，いいかえればDNA 中の遺伝情報がタンパク質中のアミノ酸配列となって次々と「翻訳」される。

個々のアミノ酸がコドンを読み取ることはできないから，正確に指令を読み取るには，アミノ酸がトランスファーRNA に正確に対応しなければならない。そこで，きわめて高い特異性をもつ酵素，アミノアシル・トランスファー RNA 合成酵素が働く。この酵素はまちがったアミノ酸がつけられた前駆体を取り除く修正機能までもっている。

このようにして，正確な遺伝情報の翻訳が保証されているのである。

RNAは，DNAが複製を開始するときの導火線となる。

RNA の主な機能はタンパク質の生合成であるが，実は DNA の生合成にも関与していることがわかってきた。DNA の合成は DNA ポリメラーゼという酵素によって行われる。この酵素は3′末端に dATP，dGTP，dCTP，dTTP(A,G,C,T は塩基，TP は三リン酸）を順につけ加えることにより鎖をのばす。したがって新たに DNA の合成がおこるには遊離している3′末端をもつもの(プライマー)の存在が必要である。このプライマーの役目をするのが RNA である。

DNA の複製の際には2本鎖がほどけ，それぞれの鎖が新しい鎖の合成の鋳型となる。まず鋳型となる DNA 鎖に対応する短い RNA(約10ヌクレオチド)がつくられ，この RNA 鎖の3′末端がプライマーとなり，DNA 鎖の伸長がおこる。最後に RNA 鎖は加水分解により除かれ，その結果あいた部分はまた DNA ポリメラーゼの働きによって埋められ，DNA 鎖の合成が完了するのである。

LETTERS

小さなNewton愛好会
大家孝之／大阪府藤井寺市

ぼくの組ではNewtonを愛読している人は3人です。美術の時間に先生が「こんどの時間はかべかけを作るから，動物の写真を持ってきなさい」とおっしゃったので，ぼくはそのときにNewtonを持ってこようと思った。

そして美術の時間に7月号のキタキツネのを持っていったら，あとの2人の子は，パンダやクマのNewtonを持ってきていた。動物をきめていると10人くらいがよってきて,「これいいな」とか「もっとみせて」とかいろいろいってくれて，とてもうれしかった。そしてNewtonを愛読する人が8人にもなり，小さなNewton愛好会ができた。

ウバザメの大きさにびっくり
青木祐子／神奈川県厚木市

私は前から写真が大好きで，本などでも文章より写真の方ばっかり目がいっていたのです。ところがNewtonが気に入り，やはり初めは写真ばっかりだったのですが「文を読んでいろんなことを知りたい。おもしろそうだなあ」と思い，夢中で読みはじめNewtonが大好きになりました。

11月号で「サメ」の特集があり，その迫力満点なこと……。びっくりというのかスゴイというのか，ちょっとこわかったけどよく見ました。とくに「ウバザメ」というので，体長が8メートルというのがあって，私はこんな大きなのは見たことがなく，本当にびっくりしました。

これからもいろいろな情報など楽しみにしています。



天体観測に専心するようになる
木田貴順／青森県南津軽郡

僕は中2の愛読者です。僕は父にねだって買ってもらった天体望遠鏡でときどき星空をながめていましたが，何か天文学におもしろさを覚えることが少なかったのです。そんなとき，僕に感動をあたえてくれた科学雑誌がありました。それがNewtonです。Newtonではあらゆる天文学の情報を供給してくれますので，今では天文知識も豊かになり，家族にも説明できるほどです。

これからも天文に関する情報をどんどんのせていただくことを望んでいます。

● *NEWTON PLANETALIUM* なども参考にして天体観測をつづけてみてください。

国語の教材に利用したい
酒井幸男／京都府相楽郡

学生のころ，N先生は文学専門なのに医学雑誌の編集もされ，科学者の目も持っていられたのが驚きだった。

それで，国語の教師くらい科学と縁遠いものはないと思うのは間違いだと気付いた。実際の授業でも，科学読み物を扱う時「こんな教材は，視覚に訴えて示せたら」という場面によく出遇う。が，タイミングよく資料は入手できず，イライラしながら授業を進めたりする。

ところが，Newtonでその渇きがいやされることになった。きっかけはシーラカンス特集だったが，さっそく使った。国語教材には全部の記事は不必要だから，バックナンバーをとりそろえるまでもないが，今後は大いに利用したい。

●国語の教材にNewtonが役立っているとは意外でした。



写りすぎの昆虫がブキミ
安田聡子／群馬県沼田市

初めて読んでみたNewton。ちょうの頭部が出てきたのは驚異でした。これまでのカメラでは毛の一本一本も写らなかったのに。ライト・スキャニング・カメラでみごとに写しているのには私もびっくり。グロテスクな昆虫が，ページをめくるごとに出てきて寒気がしました。

セイボウという虫は，ミツバチに似ていないかな？と私は思うんです。ミツバチは青い体じゃないけれど，眼が似てると思いませんか？それと，ゾウムシの拡大。蚊が血を吸っているみたいで，ちょっとブキミ。体のスミからスミまでちゃんと写っているでしょう。写りすぎててブキミでした。でも，とても新鮮な感じがしました。

生命の不思議さに感動
森見由美子／三重県伊勢市

9月2日に男児を出産しましたが，時を同じくしてNewton 9月号で“新しい生命のはじまり”が特集され，もうすぐ生まれてくる我子のことを思いやり，とても興味深く読みました。

初産だったので，期待と不安の毎日でしたが，予定通りに生まれた子供の産声を聞いた時，自然とは，又，生命とはなんと不思議なものだろうと感じました。

11月号で再び染色体の事が取り上げられ，親と子の相似性や，性を決める事など面白い記事が載っていました。どうしてもそのような内容のものに目がいってしまいます。

これからもぜひ生命に関する特集をたくさん取り上げて下さい。

●ご出産おめでとうございます。来月号の *NEWTON SPECIAL* では「脳」についての特集を予定しています。ご期待下さい。

なかったくさりの輪がみつかった
本橋耕一郎／東京都西多摩郡

DNAによって細胞が複製されることを知った。また，それが細胞核の中に存在することも知った。また，その形が二重らせんであることも知った。でもぼくは，まだ知りたいことがあった。それは，DNAがどのように存在しているかということだった。細胞核内をただよっているわけでもあるまい。

11月号NEWTON SPECIAL「親と子をつなぐもの」はDNAが染色体の中でからみあっている繊維状のものだということをズバリ教えてくれた。しかも1ページどかっと顕微鏡写真までのせてくれた。その時は感激だった。「人間の歴史」の作者イリーンではないが,「なかったくさりの輪がみつかった」というような気持であった。

ぼくは，このようにDNAのむずかしい説明よりも，ぼくのように科学の知識の少ない人々がわからないでなやんでいるものをふっと教えてくれるNewtonが好きだ。

⊙応募のきまり

このLETTERSのコーナーでは，読者の皆さまからのさまざまなご意見をお待ちしております。なおお便りは必ずハガキで，住所，氏名，電話番号，年齢，職業（学生の方は学年）を明記して下さい。採用させていただきました方には，Newton特製トレーナー（赤，白の2色を用意しました）を進呈させていただきます。

双生児について知りたい。
佐藤幸江
東京都杉並区

私は生物の苦手な高校生です。11月号の*NEWTON SPECIAL*「親と子をつなぐもの」の記事は，たいへん勉強になりました。ところで，双生児には非常によく似ている場合とそうでない場合とがあるように思います。どうしてなのでしょうか。わかりやすく教えて下さい。

双生児には非常によく似ていて，親もとりちがえるほどのものがある一方で，顔や体格などにかなりの差があるものや男女1組のものもある。双生児がこのように似たり似なかったりするのは環境の差によるものもあるが，双生児のでき方に一卵性，二卵性の2種類あることが大きな原因である。

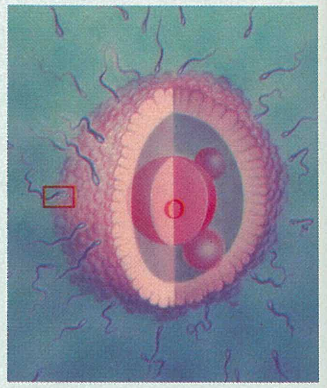
受精卵が発生の途中で，何らかの理由によって二つの細胞群に分かれてしまい，それぞれ独立の胎児に発育したのが一卵性双生児である。もともと1個の受精卵から出発したので，2人の持っている遺伝子構成はまったく等しい。しかし，子宮内での血液の供給量などに差がみられ，生後の環境の差によってさらに双生児間の差は大きくなる。

これに対し，一度に2個の卵が排卵され，それぞれ別の2個の精子によって受精され，2個の受精卵を生じ，これが発育して生まれたのが二卵性双生児である。最初から独立した2個体であるので，遺伝子構成は兄弟姉妹の関係と同じである。ただ，胎児の時期を同時に同じ子宮内ですごしたことになる。

男子と女子の組み合わせなら必ず二卵性双生児であるが，同性の組み合わせの場合には一卵性，二卵性の両方の可能性がある。一般には，出生時の胎盤や胎児を包んでいた脈らく膜を共有していれば一卵性，分離していれば二卵性と判断することが多い。

最近話題の五つ子などの多くは，排卵誘発剤の作用などで一度に多数の卵が排卵されて受精したことによる，いわば五卵性五つ子であることが多い。このような五つ子の場合，多くは男子と女子の組み合わせであり，通常の兄弟姉妹にみられる程度の差がみられる。

（都立両国高校　薄葉重）


ヒトの卵のつくり

リニアモータカーに質問
深井俊次
岐阜県揖斐郡
中村 孝
千葉県市川市

11月号の「リニアモータカーへの挑戦」で，MLU001の最大速度が時速300キロから400キロとありました。これだけの速さになると，中に乗っていてGはどのくらいかかりますか。また，何トンもある車体を浮かせるほどの磁力で，人間の体には悪い影響はないのでしょうか。

時速300キロから400キロの一定速度で走っているリニアモータカーに乗っていてもGは停車しているときとほとんどかわりません。

乗っている人にかかる力は，重力とリニアモータカーが動くことによって生ずる力です。後者は，リニアモータカーが振動することによって生ずる力とリニアモータカーの速度を上げたり，下げたりすることによって生ずる力です。

振動の小さいリニアモータカーでも，速度を上げたり，下げたりすることによって人にかかる力はなくなりません。しかし，速度がいくら高くても速度が時間的に変化しなければ，このような力は生じません。なぜかというと，力は加速度と質量を乗じたものに比例するからです。加速度とは速度の変化の時間に対する割合です。

したがって，リニアモータカーを速度0から時速300キロや400キロまであげたり，このような速度から停車させる間は，乗っている人に力がかかります。乗っている人達の質量はそれぞれちがいますから，このような力の程度をわかるようにするには加速度が使われ，1秒間に毎秒980センチの速度変化が生じるときを，毎秒毎秒980センチであらわし，1Gとします。

実験車ML500が最高速度時速517キロを記録したときの加速度は0.328Gでしたが，これは短い距離で早く速度を上げるためでした。皆さんがお乗りになるリニアモータカーは，最高速度に達するまでの時間も長くなり，距離も長くなりますが，加速度はこれまでの電車と同じ程度にしたいと思っています。

また，磁力についてですが，何トンもある車体を浮かせるほどの磁力でも人間の体に悪い影響はありません。研究所でマウスやウサギを使って，いろいろな実験が行われました。その結果，200ガウス以下なら悪い影響がないだろうということになりました。

現在，宮崎実験線で走っているMLU001は，人の乗る室の床面で最大200ガウスです。将来皆さんに乗っていただくリニアモータカーは，100人乗りで長さ25メートル，重さ30トンくらいになるでしょう。MLU001の中間車は，長さ8.2メートル，重さ10トンですから，実用車になっても床面で最大200ガウスにすることはできます。

（日本国有鉄道　京谷好泰）

編集長室から

竹内 均



ワードプロセッサのプリンタから打ちだされた原稿に目を通す。

1982年9月号の「編集長室から」の中でそれとなくのべた全国の研究者の海外での野外調査援助や，海外取材のための基地建設がすでにいくつかスタートしている。ノルウェーの北極圏内にあるスピッツベルゲンの島や，フィンランドに属するラップランドの基地がすでにスタートし，アイスランドの首都レイキャビクでのそれがスタートしようとしている。アフリカのカメルーンで地味な努力をしておられる研究者への援助もスタートした。これは依然として40万部の部数を保ちつづけているNewton が，読者の強力な支持にこたえる感謝のしるしである。

この1月からはじめて，全国の西武系のデパートで「宇宙を探る5000年展—地球を動かした人コペルニクス」が行われる。これは5000年にわたる人間の宇宙探求の歴史をたどるものであり，また地動説の提唱者コペルニクスをとくに取り上げている。われわれの Newton もこの催しに協力している。皆さんの近くでこの展覧会がもよおされた時には，ぜひそれを見に行っていただきたい。

82年の12月末に，Newton から「宇宙を観る—グラフィック・ユニバース」が出版された。その内容は，上でのべた「宇宙を探る5000年展」のそれとほぼ一致している。コペルニクスの伝記もおさめられている。愛読をいただきたい。

つづいて筆者紹介に移る。「なぞの天体クェーサー」を書いていただいた鶴田幸子さんはアメリカ，モンタナ州立大学教授であり，天文学の理論面で国際的な活躍をしておられる。鶴田博士らが発表したクェーサーのブラックホールモデルは，観測面からの強い支持を得ている。「ミツバチ」の写真は栗林慧さんによるものである。栗林さんは生物生態写真家で，とくに昆虫の行動している姿を写すのを得意としている。長崎県北松浦郡田平町に住んでおられる。解説者の大谷剛さんは栗林さんの自然科学写真研究所で昆虫の生態を研究されている。

「有珠山の1977—78年噴火」の筆者勝井義雄さんは北大理学部地質鉱物学教室教授であり，噴火直後から有珠周辺の地質について研究されてきた。「種属共通がん抗原」の筆者谷口克さんは千葉大学医学部で免疫の基礎研究をされている。「地球の回転に秘められたなぞ」の筆者佐藤壽治さんは科学ジャーナリストであり，「ペンギン」の解説者内藤靖彦さんは国立極地研究所助教授である。

NEWTON SPECIAL の「コンピュータ」をつくるにあたっては，東京大学大型計算機センターの鷹野澄さん，安達淳さんの協力をいただいた。

Photograph

2	栗林慧/Nature Production，岩藤誠
3	Emil Schulthess represented by G.I.P. Tokyo，斎藤忠徳，中村庸夫
4	NASA/JPL，飯島正広/Nature Production
5	桜井淳史/Nature Production，NASA
6	浅尾省吾/Nature Production，吉野 信/Nature Production，NASA/JPL
7	Alan Nogues/SYGMA/Imperial Press Royal Observatory Edinburgh
8	河原康裕
9	1万分の1有珠火山地質図（近堂裕弘ほか，1982年）
10	ヨネ・プロダクション
12～21	栗林慧/Nature Production
22	大谷剛/Nature Production
22-23	栗林慧/Nature Production
24～31	栗林慧/Nature Production
32-33	岩藤誠
33	COLUMBIA ASTROPHYSICS LAB
38	Royal Observatory，Edinburgh
38-39	NARO，operated by Associated Universities，Inc.，European Sourthern Observatory
39	NARO，operated by Associated Universities，Inc.，パロマー天文台
40-41	Greg Davis
42-43	J.Wartiovaara・竹市雅俊
43	Greg Davis
48	白吉安昭
54	日本テキサス・インスツルメンツ株式会社
55	日本ユニバック株式会社
67	日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所
72～73	株式会社日立製作所
74～81	Emil Schulthess represented by G.I.P. Tokyo
82	日本放送出版協会，ボンカラー
84～85	日本放送出版協会
86-87	イノウエフォトプロダクション
87	ドイツワイン協会
88	オリオンプレス
88～89	日本放送出版協会
92	キヤノン株式会社
94	桜井淳史/Nature Production
95	伊藤勝康/Nature Production，増田戻樹/Nature Production
96	徳富一光
97	増田戻樹/Nature Production
98～99	林田恒夫
100～101	斎藤忠徳
104～107	斎藤忠徳
108～115	中村庸夫
116～119	関島康生
120～121	モラビア博物館
122～125	モラビア博物館・中沢信午
129	宇宙科学研究所

Illustration

3	武田育雄
10	青木隆
34-35	高橋悦子
36-37	武田育雄
44～47	金井裕也
48-49	金井裕也
50～73	構成/福沢郁文
50-51	福沢郁文
52～55	高橋悦子，駄場寛
56-57	野口佐武郎
58	駄場寛
62-63	金井裕也
64-65	浅野仁
66-67	青木隆
68-69	遠藤孝昭
70-71	浅野仁，嶋岡五郎
83	門馬朝久
90-91	嶋岡五郎
92-93	嶋岡五郎，三橋純
102-103	青木隆
113	高橋悦子
126～127	高橋悦子
129	浅野仁
130～133	目黒市松

Cooperation

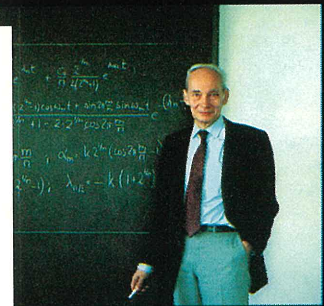
52～53	日本アイ・ビー・エム株式会社
54～55	日本ユニバック株式会社，西村恕彦/東京農工大学
56～58	東京大学大型計算機センター，株式会社日立製作所
68～69	株式会社日立製作所
120～125	モラビア博物館

Newton へのお便りは，かならず葉書きにてお寄せください

あて先：〒180　東京都武蔵野郵便局私書箱第1号Newton 編集部

Newton GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

3月号予告



フレート・アイゲン博士(写真：PPS)

ᴐCUS

星の集まりである。太陽系の属す
うした銀河の一つである。別名小
る銀河。望遠鏡を通してみるその
に漂うみごとな造形でもある。

HIC
一島

浮かぶ火山の島イースター島。海
な石像モアイやコハウ・ロンゴロ
文字，そして原住民の起源など。
包まれたイースター島を探る。

ュー／マンフレート・アイゲン
イクル理論

ーベル化学賞を受賞したマンフレー
士に特別インタビュー。無生物と
ぐ博士のハイパーサイクル理論は，
わるなぞをみごとに解明した。

根本順吉

象という異常な気象現象が，近年世
しているという。1981年の1年間
象がどこでどんなおこり方をして
特徴を探ってみる。

ザーを目指して

型レーザー研究センターを訪ねて
ー源として期待されるレーザー核
不可欠な大出力レーザー。基礎研
コンピュータでその姿を予測しよ
宅間教授のグループを取材する。

シャチ——解説：鳥羽山照夫

巨大なクジラをも襲って殺してしまうどう猛な哺乳動物シャチ。そのどう猛さと大食漢ぶりとによって，世界の海に君臨し，「海の王者」あるいは「海のオオカミ」とよばれるシャチの生態をみる。

編集長室から

竹内 均



ワードプロセッサのプリンタから打ちだされた原稿に目を通す。

1982年9月号の「編集長
ら」の中でそれとなくのべ
国の研究者の海外での野外
援助や，海外取材のための
建設がすでにいくつかスタ
している。ノルウェーの北
内にあるスピッツベルゲン
や，フィンランドに属する
プランドの基地がすでにス
トし，アイスランドの首都
キャビクでのそれがスター
ようとしている。アフリカ
メルーンで地味な努力をし
られる研究者への援助もス
トした。これは依然として
部の部数を保ちつづけて
Newton が，読者の強力な
にこたえる感謝のしるしで
この1月からはじめて，
の西武系のデパートで「宇
探る5000年展—地球を動か
人コペルニクス」が行われ
これは5000年にわたる人間
宙探求の歴史をたどるもの
り，また地動説の提唱者コ

Photograph

2 栗林慧/Nature Production，岩藤誠
3 Emil Schulthess represented by G.I.P. Tokyo，斎藤忠徳，中村庸夫
4 NASA/JPL，飯島正広/Nature Production

Newton への

あて先：〒18

Newton
GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

ごあんない

●定期購読制です。
　定期購読をご希望の方は，定期購読申込書に必要事項をご記入のうえ，ご投函ください。
●毎月定期的にお届けします。
　定期購読を申し込まれますと，Newtonの毎月号を前月末日までに，教育社出版販売株式会社から，サービス員が直接お宅にお届けします。ただしお申し込みが該当月号の下旬になりますと，初回配本のみ郵送になる場合があります。
　また一部の地域では毎月郵送でお届けすることがあります。
●購読料は1か月(1号)800円です。サービス員がNewtonをお届けしたときにお支払いくだ

●定期購読を中止される場合は，前月1日までにご連絡いただければ，いつでも自由に購読を中止することができます。
●年4回豪華なサービス
　Newtonの定期購読者には，1年に4回，豪華なサービスがあります。
　次回の Newton 特製サービス品は4月号に予定しています。ご期待ください。

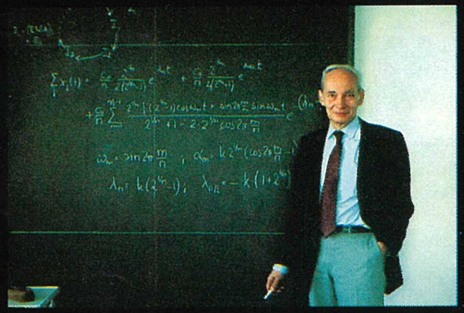
90-91 嶋岡五郎
92-93 嶋岡五郎，三橋純
102-103 青木隆
113 高橋悦子
126～127 高橋悦子
129 浅野仁
130～133 目黒市松

Cooperation

52～53 日本アイ・ビー・エム株式会社
54～55 日本ユニバック株式会社，西村恕彦/東京農工大学
56～58 東京大学大型計算機センター，株式会社日立製作所
68～69 株式会社日立製作所
120～125 モラビア博物館

Newton
GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

3月号予告



マンフレート・アイゲン博士(写真：PPS)

ZOOM & FOCUS 銀河

銀河は，無数の星の集まりである。太陽系の属する銀河系も，そうした銀河の一つである。別名小宇宙ともよばれる銀河。望遠鏡を通してみるその姿は，宇宙空間に漂うみごとな造形でもある。

GEOGRAPHIC イースター島

広大な太平洋に浮かぶ火山の島イースター島。海を背に建つ巨大な石像モアイやコハウ・ロンゴロンゴに書かれた文字，そして原住民の起源など。すべてがなぞに包まれたイースター島を探る。

特別インタビュー／マンフレート・アイゲン

ハイパーサイクル理論

1967年に，ノーベル化学賞を受賞したマンフレート・アイゲン博士に特別インタビュー。無生物と生物の間をつなぐ博士のハイパーサイクル理論は，遺伝暗号にまつわるなぞをみごとに解明した。

異常気象——根本順吉

30年以上に1回という異常な気象現象が，近年世界各地にひん発しているという。1981年の1年間を例に，異常気象がどこでどんなおこり方をしているのか，その特徴を探ってみる。

大出力レーザーを目指して

電気通信大学新型レーザー研究センターを訪ねて

未来のエネルギー源として期待されるレーザー核融合の実用化に不可欠な大出力レーザー。基礎研究を積み重ね，コンピュータでその姿を予測しようとする電通大宅間教授のグループを取材する。

シャチ——解説：鳥羽山照夫

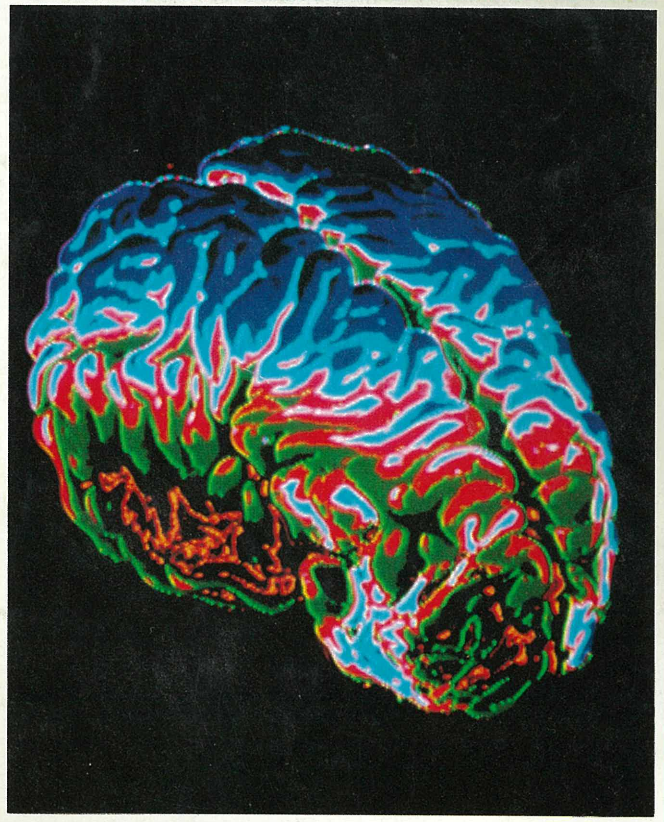
巨大なクジラをも襲って殺してしまうどう猛な哺乳動物シャチ。そのどう猛さと大食漢ぶりとによって，世界の海に君臨し，「海の王者」あるいは「海のオオカミ」とよばれるシャチの生態をみる。

Newton
GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

NEWTON SPECIAL **脳**

脳はみずからを探りはじめた

人間の脳は「生命の進化」の歴史が生みだした最高の成果であり最も複雑な構造物である。人間の精神活動と脳との関係は古くからの研究分野であり長年にわたって科学者が取り組んできたにもかかわらずなお多くのなぞを秘めている。しかし，脳の働きをになう神経細胞の情報伝達の仕組みやそれにかかわる神経伝達物質などがしだいに明らかになってきた。Newton 3月号では脳自身を探りはじめた脳についてイラストで解説していく。



X線断層写真をもとにコンピュータで合成したヒトの脳。(写真：Howard Sochurek)

Newtonは
科学の時代をひらく

Newton は科学の時代のための本格的グラフィック・サイエンス・マガジンです。
現代科学の最前線の話題や大自然のおりなすドラマを
最高級の写真とイラストレーションで
ご紹介します。

雑誌07047－2

Newton

1983年2月号

昭和58年2月7日発行　毎月7日発行　第3巻第2号
昭和56年7月28日国鉄首都特別扱承認雑誌第5750号
昭和56年8月10日第三種郵便物認可
編集人　竹内均
発行人　辻裕久
〒189 東京都東村山市恩多町1－12－3
株式会社　教育社
定価　八〇〇円
A-001

ISSN 0286-0651
昭和58年2月7日発行　毎月7日発行　第3巻第2号
昭和56年7月28日国鉄首都特別扱承認雑誌第5750号
昭和56年8月10日第三種郵便物認可

Newton

GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン



2 1983/February
Vol.3 No.2

ZOOM & FOCUS
ミツバチ

NEWTON SPECIAL
コンピュータ

GEOGRAPHIC
ライン川／竹内 均

なぞの天体クェーサー／鶴田幸子

細胞社会をつくりあげる分子

緯度観測所を訪ねて
地球の回転に秘められたなぞ

ペンギン

¥800

KYOIKUSHA